

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

قُلْ أَرَأَيْتُمْ إِنْ أَصْبَحَ مَاؤُكُمْ غَوْرًا فَمَنْ يَأْتِيكُمْ بِمَاءٍ مَّعِينٍ ﴿٣٠﴾

بگو آیا نظری دهید که اگر آب (سرزمین) شما فرورود پس چه کسی برای شما آب جاری می آورد (۳۰)»

آیه ۳۰ سُورَةُ الْمَلِكِ



دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته معدن گرایش استخراج مواد معدنی

عنوان

تخمین میزان ورود آب به درون تونل شماره یک معدن سرب و روی انگوران و پیش بینی

هزینه‌های ناشی از آن

نگارنده: مجید فرهادی

اساتید راهنما

دکتر محمد عطائی

دکتر فرهنگ سرشکی

استاد مشاور

مهندس بهمن کارگر

دی ماه ۱۳۹۸

تقدیم اثر

«واژه‌های آب جاری بر صفحات این تحقیق، تقدیم به لبان تشنه سرور شهیدان کربلا
امام حسین (ع) و یاران با وفای آن حضرت»

تقدیم به

مقدس‌ترین واژه مادر لغت نامه دلم،

مادر مهربانم که زندگیم را میون دلسوزی، مهر و عطفوت بی دریغش می دانم

پدرم؛ مهربانی مشفق، بردبار و حامی

خواهران و برادرانم؛ همرازان، همیشگی و پشتوانه‌های زندگیم.

شکر و قدردانی

ستایش می‌کنم خداوند را، برای تکمیل نعمت‌های او و تسلیم بودن در برابر بزرگی او، و ایمن ماندن از نافرمانی او. و در رفع نیازها از او یاری می‌طلبم؛ زیرا آن کس را که خدا هدایت کند، هرگز گمراه نگردد، و آن را که خدا دشمن دارد، هرگز نجات نیابد و هر آن کس را که خداوند بی‌نیاز گرداند، نیازمند نخواهد شد. پس ستایش خداوند، گرانسنگ‌ترین چیز است، و برترین گنجی است که ارزش ذخیره شدن دارد، و گواهی می‌دهم که جز خدای یکتای بی‌شریک، معبودی نیست، شهادتی که اخلاص آن آزموده و پاکی و خلوص آن را باور داریم و تا زنده‌ایم بر این باور استواریم، و آن را برای صحنه‌های هولناک روز قیامت ذخیره می‌کنیم، زیرا شهادت به یگانگی خدا، نشانه استواری ایمان، بازکننده درهای احسان، مایه خشنودی خدای رحمان، و دور کننده شیطان است.

«ترجمه خطبه ۲ نهج البلاغه»

به مصداق « مَنْ لَمْ يَشْكُرِ الْمَخْلُوقَ، لَمْ يَشْكُرِ الْخَالِقَ » بسی شایسته است از اساتید باکالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر عطائی و جناب آقای دکتر سرشتی که در کمال سه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از بیچ لکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهم‌یابی این پایان نامه را بر عهده گرفتند، شکر و قدردانی نمایم.

و همچنین از استاد مشاور بزرگوارم جناب آقای مهندس بهمن کارگر که با نکته سنجی ارزشمند، مرا از دانش خود بهره‌مند ساخته و در طول پایان نامه، همواره از حمایت و راهم‌یابی در جهت پربار شدن این تحقیق دریغ نورزیدند، سپاسگزارم.

تعمدنامه

اینجانب مجید فرهادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه تخمین میزان ورود آب به درون تونل شماره یک معدن سرب و روی انگوران و پیش‌بینی هزینه‌های ناشی از آن تحت راهنمایی دکتر محمد عطائی و دکتر فرهنگ سرشکی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

نقش معادن و منابع در رشد اقتصادی هر کشوری انکارناپذیر است. بدون تردید بهره‌برداری از معادن کشور، یک عامل کاملاً مثبت و مهم در رشد و توسعه اقتصادی است. فرآیند حفاری فضاهاى زیرزمینی که با ایجاد اختلال در هیدروژئولوژی همراه است، باعث ورود آب به فضای زیرزمینی می‌شود. ورود آب‌های زیرزمینی به داخل تونل می‌تواند مشکلات زیادی را در حین حفاری و بهره‌برداری از آنها ایجاد نماید. از این رو تخمین میزان آب ورودی به تونل از نظر اجرایی بسیار حائز اهمیت است و این مستلزم شناخت شرایط هیدروژئولوژیکی حاکم بر مناطق اطراف تونل است. اگرچه روش‌های متعددی برای تخمین میزان آب ورودی به تونل ارائه شده است، اما هیچ روش کاملی برای محاسبه دقیق میزان جریان آب به فضای زیرزمینی وجود ندارد. منطقه مورد مطالعه تونل شماره یک معدن سرب و روی انگوران به طول ۱۱۹۰ متر که قسمت اعظم آن را آهک و بخشی از آن را شیست تشکیل داده است، می‌باشد. در این تحقیق پس از تحلیل نتایج آزمایش‌های لوژان انجام شده در منطقه، نقش ساختارهای زمین شناسی مانند گسل‌ها، شکستگی‌های باز و ... مورد بررسی قرار گرفت. سپس با روش‌های تحلیلی و تجربی میزان جریان آب ورودی به تونل تخمین زده شده و با مقدار واقعی مقایسه شد که از بین روابط تحلیلی رابطه کارلسرود و روش تجربی هیور نتایج نزدیک به مقدار واقعی ارائه دادند. بنابراین یک تخمین مناسب از دبی آب وارده به تونل در طراحی، تعیین روش‌های اجرا و نیز پیش‌بینی هزینه‌ها بسیار مفید خواهد بود. مطالعات برآورد هزینه یکی از بخش‌های مهم بررسی‌های امکان سنجی پروژه‌های معدنی می‌باشد و نقش عمده‌ای در اقتصادی و یا غیر اقتصادی معرفی کردن پروژه‌ها ایفا می‌کند. بدین ترتیب برآوردهای مستند و قابل اعتماد هزینه‌ها و در کنار آن تخمین درآمدهای پروژه شالوده تحلیل اقتصادی و تصمیم بر سرمایه گذاری را شکل می‌دهند. از آنجایی که هیچ مدلی یافت نشده است که تنها بر روی هزینه‌های آبکشی فضاهاى زیرزمینی تمرکز داشته باشد. در این تحقیق مدل ریاضی جدیدی برای محاسبه هزینه‌های آبکشی از فضاهاى زیرزمینی بر اساس میزان آب ورودی ارائه شد. ساده بودن، در دسترس بودن پارامترهای موثر در هزینه و انجام محاسبات بر حسب میزان آب ورودی به فضای زیرزمینی می‌تواند از مزایای این مدل باشد. در نهایت هزینه‌های آبکشی معدن سرب و روی انگوران با مدل مذکور برآورد شد.

کلید واژه: مخارج آبکشی، معدن کاری سبز، آزمایش لوژان، تونل انگوران، تخمین دبی آب ورودی.

فهرست مطالب

۱- کلیات تحقیق.....	۱
۱-۱- زمینه تحقیق.....	۲
۲-۱- بیان مسأله اساسی تحقیق.....	۲
۳-۱- ضرورت انجام تحقیق.....	۵
۴-۱- پیشینه تحقیق.....	۷
۵-۱- جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق.....	۱۳
۶-۱- روش تحقیق و گردآوری اطلاعات.....	۱۴
۷-۱- ساختار پایان نامه.....	۱۵
۲- معرفی و بررسی اجمالی معدن سرب و روی انگوران.....	۱۷
۱-۲- شرایط عمومی منطقه انگوران.....	۱۸
۱-۲-۱- موقعیت جغرافیایی معدن سرب و روی انگوران.....	۱۸
۲-۱-۲- شرایط آب و هوایی منطقه.....	۱۸
۲-۲- زمین شناسی عمومی منطقه انگوران.....	۱۹
۳-۲- مطالعه هیدروژئولوژی معدن سرب و روی انگوران.....	۲۰
۴-۲- زمین شناسی مهندسی مسیر تونل شماره یک.....	۲۴
۱-۴-۲- مشخصات فنی طرح.....	۲۴
۲-۴-۲- خصوصیات ژئومکانیکی مقطع.....	۲۵
۳-۴-۲- پارامترهای سختی نرمال و برشی سطح ناپیوستگی های تونل یک.....	۲۵
۵-۲- جمع بندی.....	۲۶
۳- روشهای تخمین میزان آب ورودی به تونل های سنگی.....	۲۷
۱-۳- آشنایی.....	۲۸
۲-۳- پارامترهای موثر سنگ و مشخصات تونل در میزان جریان آب ورودی به آن.....	۲۸
۳-۳- روشهای پیش بینی میزان جریان آب به درون تونل.....	۳۱
۱-۳-۳- روش های تحلیلی.....	۳۱
۲-۳-۳- روش های تجربی.....	۳۳
۳-۳-۳- روش های عددی.....	۳۵

۳۷	۴-۳- جمع بندی
۳۹	۴- تخمین میزان آب ورودی به تونل ۱ معدن سرب و روی انگوران و هزینه های احتمالی ناشی از آن
۴۰	۴-۱- آشنایی
۴۰	۴-۲- تعیین نفوذپذیری توده سنگ با استفاده از آزمون های صحرایی
۴۱	۴-۳- تعیین نفوذپذیری در توده های سنگی با آزمایش لوژان
۴۱	۴-۳-۱- تعریف
۴۱	۴-۳-۲- روش و ابزارهای انجام آزمایش
۴۳	۴-۳-۳- نتایج آزمایش لوژان
۵۶	۴-۳-۴- تعیین سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه
۶۱	۴-۴- نتایج مطالعات صحرایی روند هیدرولیک در سنگ
۶۷	۴-۵- نقش ساختارهای زمین شناسی در جریان آب زیرزمینی به تونل یک معدن انگوران
۶۸	۴-۵-۱- صفحات درزه ها
۷۸	۴-۵-۲- شکستگی ها
۷۹	۴-۵-۳- حفره های انحلالی
۸۰	۴-۵-۴- لایه بندی
۸۱	۴-۵-۵- میزان شیب دامنه ها
۸۱	۴-۵-۶- گسل ها
۸۸	۴-۵-۷- نتایج حاصل از مطالعه مسیرهای خروج آب در تونل یک معدن سرب و روی انگوران
۹۲	۴-۶- تخمین میزان آب ورودی به تونل یک با استفاده از روابط تحلیلی و تجربی
۹۴	۴-۶-۲- نتیجه محاسبات تحلیلی
۹۶	۴-۶-۳- نتایج محاسبات تجربی بر اساس مدل هیور
یک	۴-۶-۴- تحلیل نتایج روش های تحلیلی و تجربی و مقایسه با مقدار واقعی آب ورودی به تونل یک
۹۸	
۱۰۰	۴-۷- هزینه های احتمالی ناشی از ورود آب به تونل و فضاهای زیرزمینی
۱۰۱	۴-۷-۱- انجام مطالعات آب شناسی و تخمین میزان آب ورودی به تونل
۱۰۱	۴-۷-۲- جمع آوری و هدایت آب در طول تونل
۱۰۸	۴-۷-۳- انتقال آب به خارج از فضای زیرزمینی
۱۱۲	۴-۷-۴- تصفیه و بهره برداری از آب خارج شده از معدن
۱۱۳	۴-۷-۵- تخمین هزینه های اقدامات آبکشی
۱۲۲	۴-۷-۶- تخمین هزینه های آبکشی تونل شماره یک معدن سرب و روی انگوران
۱۲۳	۴-۸- جمع بندی

۵- نتایج و پیشنهادات ۱۳۱

۵-۱- نتیجه گیری ۱۳۲

۵-۲- پیشنهادات ۱۳۳

۵-۲-۱- پیشنهادات اجرایی ۱۳۴

۵-۲-۲- پیشنهادات علمی ۱۳۴

پیوست ۱۳۶

مراج ۱۳۹

فهرست جداول

شماره	عنوان	صفحه
۱-۱	سابقه علمی و تحقیقات مشابه خارجی	۱۰
۲-۱	سابقه علمی و تحقیقات مشابه داخلی	۱۱
۱-۲	مشخصات فنی تونل شماره یک سرب و روی انگوران	۲۴
۲-۲	خصوصیات ژئومکانیکی تونل شماره یک معدن سرب و روی انگوران	۲۵
۳-۲	پارامترهای سختی نرمال و برشی سطح ناپیوستگی های تونل یک	۲۵
۱-۳	پارامترهای موثر سنگ و مشخصات تونل در میزان جریان آب ورودی به تونل	۲۸
۲-۳	معادلات تحلیلی تخمین جریان آب ورودی به تونل	۳۲
۱-۴	مشخصات کلی گمانه های آزمایش لوژان (فشار آب)	۴۳
۲-۴	فراوانی رفتارهای جریان در آزمایش لوژان به تفکیک گمانه	۴۴
۳-۴	مقادیر نفوذپذیری (لوژان) هر گمانه بر حسب عمق	۴۵
۴-۴	طبقه بندی نفوذپذیری بر اساس مقدار لوژان توده سنگ	۴۷
۵-۴	وضعیت ناپیوستگی توده سنگ در ارتباط با مقادیر مختلف لوژان	۴۷
۶-۴	ارتباط بین مقدار لوژان، دبی جریان و وضعیت ناپیوستگی توده سنگ	۴۹
۷-۴	روابط تجربی اندازه گیری نفوذپذیری معادل سنگ	۵۴
۸-۴	مقدار مبنای هدایت هیدرولیکی سنگ ها	۵۵
۹-۴	وضعیت زمین شناسی برداشت شده از تونل شماره یک	۶۳
۱۰-۴	طبقه بندی برای توصیف بازشدگی ناپیوستگی های سنگ	۷۱
۱۱-۴	شیب و جهت شیب درزه های برداشت شده سنگ آهک	۷۴
۱۲-۴	شیب و جهت شیب درزه های برداشت شده سنگ شیست	۷۵

۷۶	پارامترهای آماری شیب درزه‌های سنگ آهک	۱۳-۴
۷۶	پارامترهای آماری شیب درزه‌های سنگ شیست	۱۴-۴
۷۹	وضعیت زمین شناسی شکستگی‌های برداشت شده تونل یک	۱۵-۴
۸۳	مشخصات گسل‌های تونل یک معدن سرب و روی انگوران	۱۶-۴
۹۲	طبقه بندی وضعیت محل‌های خروج آب و انواع ناپیوستگی	۱۷-۴
۹۲	وضعیت ورود آب در تمام طول ۱۱۹۰ متر تونل (به جز گسل‌ها، شکستگی‌ها و حفره‌ها)	۱۸-۴
۹۴	روابط مختلف جهت محاسبه نفوذپذیری توده سنگ	۱۹-۴
۹۶	نتایج محاسبه میزان آب ورودی به تونل با استفاده از روابط تحلیلی	۲۰-۴
۹۷	ارتباط تقریبی مقادیر لوژان با ضریب نفوذپذیری توده سنگ	۲۱-۴
۹۸	نتایج محاسبات تجربی بر اساس مدل هیور	۲۲-۴
۱۰۵	روابط تعیین ضریب C	۲۳-۴
۱۲۴	محاسبه حقوق پایه کارگران جهت لایروبی غنو	۲۴-۴
۱۲۴	کل هزینه سالانه نیروی انسانی	۲۵-۴
۱۲۵	هزینه خوراک سالیانه	۲۶-۴
۱۲۵	هزینه تعمیرات و نگهداری	۲۷-۴
۱۲۵	هزینه جاری سالیانه	۲۸-۴
۱۲۶	ترکیب اختلاط بهینه ارائه شده برای بتن پرکننده کارگاه‌های استخراج	۲۹-۴
۱۲۷	مصرف کننده‌های مهم آب و میزان مصرف	۳۰-۴
۱۲۷	ضرایب همزمانی، نشت و فرسودگی برای سیستم آبرسانی	۳۱-۴
۱۲۷	مقدار مصرف آب با در نظر گرفتن ضرایب بر حسب متر مکعب بر ساعت	۳۲-۴
۱۲۸	مقدار مصرف روزانه آب توسط مصرف کننده‌ها بر حسب متر مکعب در روز	۳۳-۴
۱۲۸	مصرف آب سالانه پرسنل	۳۴-۴
۱۲۶	قیمت آب مصرفی سالانه	۳۵-۴
۱۲۷	هزینه‌های آبکشی معدن سرب و روی انگوران	۳۶-۴

فهرست اشکال

شماره	عنوان	صفحه
۱-۱	نمایش شماتیک بخش‌های مختلف معدن زیرزمینی سرب و روی انگوران	۶
۱-۲	موقعیت جغرافیایی معدن سرب و روی انگوران	۱۸

۳۳	وضعیت تونل در رابطه گودمن و همکاران	۱-۳
۳۴	جریان قائم در تونل‌های کم عمق	۲-۳
۳۴	جریان شعاعی در تونل‌های عمیق	۳-۳
۳۵	رابطه تجربی میان متوسط جریان آب به داخل تونل در حالت پایدار	۴-۳
۴۲	نمایش شماتیک انجام تست لوژان در معدن سرب و روی انگوران	۱-۴
۴۵	روش میله‌ای و منحنی‌های P-Q جهت تفسیر نتایج آزمایش لوژان	۲-۴
۴۵	نتایج آزمایش‌های فشار آب در مقاطع ۵ متری	۳-۴
۴۷	رفتار نگاری جریان آب در توده سنگ در تست لوژان و درصد فراوانی مربوط به آنها	۴-۴
۵۰	توزیع نفوذپذیری با تغییر عمق با به کارگیری آزمایش لوژان	۵-۴
۵۱	نمایش شماتیک کاهش عرض شکستگی‌ها با افزایش عمق	۶-۴
۵۱	رابطه بین عدد لوژان و RQD	۷-۴
۵۳	الف) مدل با تراوایی شدیداً انیزوتروپ، ب) مدل با تراوایی ایزوتروپ، ج) رابطه بین لوژان Lu و K	۸-۴
۵۵	بازه مقادیر هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری	۹-۴
۵۷	حوضه‌های زهکشی مشرف بر معدن سرب و روی انگوران	۱۰-۴
۵۷	- الگوی زهکشی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ ماهشان، نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان و عکس‌های هوایی)	۱۱-۴
۵۸	وضعیت سطح ایستابی در گمانه‌های پیزومتری معدن سرب و روی انگوران از مهرماه ۹۶ تا مهرماه ۹۸	۱۲-۴
۵۹	موقعیت گمانه‌های پیزومتری و تراز آب زیرزمینی در نرم افزار <i>AutoCAD</i>	۱۳-۴
۶۰	نمایش شماتیک گمانه‌های پیزومتری در نرم افزار <i>AutoCAD</i>	۱۴-۴
۶۲	تمرکز شیب و جهت شیب درزه‌های تونل یک بر روی شبکه استریونت	۱۵-۴
۷۰	وضعیت بازشدگی درزه‌ها در زون آهک	۱۶-۴
۷۲	وضعیت فاصله داری دسته درزه ۱ سنگ آهک	۱۷-۴
۷۲	وضعیت فاصله داری دسته درزه ۲ سنگ آهک	۱۸-۴
۷۳	وضعیت فاصله داری درزه‌های سنگ شیبست	۱۹-۴
۷۵	وضعیت شیب درزه‌ها در سنگ آهک	۲۰-۴
۷۵	وضعیت شیب درزه‌ها در سنگ شیبست	۲۱-۴
۷۷	هیستوگرام جهت شیب درزه‌های منطقه مورد مطالعه	۲۲-۴

۸۲	گروه‌های اصلی ترکیب توده سنگ‌های گسل خورده	۲۳-۴
۸۵	مقایسه میزان دبی آب خروجی از گسل‌های نرمال و امتداد لغز نسبت به کل دبی آب تونل یک	۲۴-۴
۸۶	نمایش شماتیک وضعیت خروج آب از گسل‌ها در طول تونل یک	۲۵-۴
۸۷	نمایش شماتیک مدل زمین شناسی و هیدروژئولوژی گسل‌های تونل یک انگوران	۲۶-۴
۸۹	نقشه خروجی‌های آب طبقه بندی شده بر اساس آبدهی آنها (برداشت صحرائی)	۲۷-۴
۹۰	نقشه خروجی‌های آب در در تمام طول ۱۱۹۰ متر تونل یک سرب و روی انگوران	۲۸-۴
۹۳	منحنی‌های عمق - نفوذپذیری گمانه BH01 بر اساس روابط فرانسون، بارتون و کوادروس	۲۹-۴
۱۰۰	مقادیر واقعی آب ورودی به تونل و معدن زیرزمینی سرب و روی انگوران	۳۰-۴
۱۰۰	مقایسه نتایج تحلیلی و تجربی با مقدار واقعی اندازه گیری شده	۳۱-۴
۱۰۵	جریان یکنواخت در یک کانال منشوری	۳۲-۴
۱۰۶	بهترین مقطع هیدرولیکی دوزنقه	۳۳-۴
۱۰۸	انتقال آب به خارج از فضای زیرزمینی توسط غنو	۳۴-۴
۱۰۸	انتقال آب به خارج از فضای زیرزمینی به وسیله پمپ	۳۵-۴
۱۰۹	منحنی مشخصه تلمبه و خط لوله	۳۶-۴
۱۱۸	سیستم آبکشی با احداث یک مخزن اصلی در پایین ترین طبقه معدن	۳۷-۴
۱۱۹	سیستم آبکشی با احداث مخزن و تلمبه خانه در هر یک از طبقات و انتقال به طبقه بالاتر	۳۸-۴
۱۲۳	مشخصات غنو انتقال آب تونل ۱ معدن انگوران	۳۹-۴
۱۲۶	جانمایی حوضچه جهت تامین آب دستگاه‌های حفاری و بچینگ	۴۰-۴

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱- زمینه تحقیق

نگاهی کاربردی به تخمین میزان آب ورودی به تونل به عنوان راهکاری برای جلوگیری و کنترل مشکلات دراز مدتی که بر اثر حفر تونل در زمین‌های آبدار ممکن است ایجاد شود را می‌توان زمینه این تحقیق بیان کرد. و همچنین با عنایت به اینکه تخمین هزینه در پروژه‌های معدنی از جایگاه خاصی برخوردار است، در این تحقیق مدلی برای برآورد هزینه‌های احتمالی ناشی از ورود آب به درون تونل با استفاده از روابط ریاضی ارائه خواهد شد. در ادامه ضمن بیان مسأله اساسی تحقیق به بیان ضرورت انجام تحقیق و جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق پرداخته شده است.

۱-۲- بیان مسأله اساسی تحقیق

حفاری فضاهای زیرزمینی که با ایجاد اختلال در هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی همراه است باعث ورود آب به فضای زیرزمینی می‌شود. ورود آب به تونل‌ها یکی از مهم‌ترین مشکلات تونل‌سازی در محیط‌های سنگی است. در مورد بسیاری از تونل‌هایی که در مناطق کوهستانی و تپه ماهور احداث شده اند، مسئله نفوذ آب به داخل تونل وجود دارد. در این موارد، آب‌های سطحی، از طریق شکستگی‌ها به محیط نفوذ می‌کنند و به محوطه اطراف تونل راه می‌یابند [۱]. پیش بینی رفتار آب در داخل زمین و توده سنگ‌ها از پیچیدگی‌های زیادی برخوردار است. پی بردن به نحوه حرکت آب در زمین مستلزم وجود اطلاعات زیادی از شرایط هیدرولیکی و ژئومکانیکی محیط می‌باشد. از اهم مشکلاتی که در پهنه‌های حاوی آب زیرزمینی برای سازه‌های زیرزمینی به وجود می‌آید، ورود و در برخی موارد هجوم آب به داخل این سازه‌هاست و این امر می‌تواند پیشرفت حفاری را کاملاً تحت تاثیر قرار دهد. بدین منظور در این پروژه‌ها تلاش می‌شود مقدار جریان آب به داخل تونل پیش‌بینی شده و حجم آب ورودی به بخش‌های مختلف تونل تعیین گردد تا تمهیدات لازم جهت مواجهه با آن و کاهش اثرات منفی در روند پیشرفت پروژه فراهم گردد. عدم توجه به این منابع می‌تواند موجبات شکست پروژه و یا حداقل ایجاد مشکلاتی در مرحله اجرا را فراهم آورد که طولانی شدن مدت اجرای طرح و افزایش هزینه‌ها را به همراه خواهد داشت [۲].

به طور کلی مخاطرات ناشی از ورود آب به درون تونل را می‌توان به شرایط یا عوامل بالقوه زمین شناسی و هیدروژئولوژیکی اطلاق کرد که توانایی و پتانسیل ایجاد خسارت زمانی، مالی و جانی و تخریب محیط کار و محیط زیست یا ترکیب آنها را با هم داشته باشد. در صورتی که قبل از حفاری تونل این مخاطرات پیش بینی نشده باشد و تمهیدات لازم برای مقابله با آنها در نظر گرفته نشود، پیآمدهای جدی و جبران ناپذیری در حین حفاری به دنبال خواهد داشت. مهم‌ترین آنها افزایش هزینه‌ها، تاخیر در اجرای پروژه و تخریب محیط زیست می‌باشد. بخش عمده‌ای از مخاطرات متوجه کارفرمایان بوده که به صورت افزایش زمان و هزینه اجرای پروژه نمایان می‌گردد. بخش دیگری از مخاطرات مربوط به وجود آب در محیط کار است که منجر به تخریب تجهیزات شده و تعویض یا تعمیرات مکرر آنها را در پی دارد.

برای کنترل آب‌های زیرزمینی هجومی به داخل کارهای معدنی، باید سیستم آبکشی و آبدگیری به درستی طراحی گردد تا سطح آب زیرزمینی در این محدوده پایین نگه داشته شود و منجر به افزایش پایداری گردد [۳]. تخمین آب ورودی به تونل جهت طراحی سیستم آبکشی کارآمد و همچنین پیش‌بینی تأثیر فرآیند آبکشی بر محیط زیست ضروری است [۴].

مدیریت موفقیت آمیز هزینه در پروژه‌های معدنی، به عنوان یک پارامتر کلیدی در مدیریت پروژه محسوب می‌شود. نیل به این هدف اساسی مستلزم یک تخمین هزینه دقیق و قابل اعتماد بوده به طوری که مواردی چون تعریف و طبقه‌بندی اقلام هزینه بر، تعیین و تحلیل روابط بین داده‌های هزینه ای و در نهایت برآورد هزینه بر اساس روابط در نظر گرفته شود [۵]. هیچ مدلی یافت نشده است که تنها بر روی هزینه‌های ورود آب به درون فضاهای زیرزمینی تمرکز داشته باشد، بنابراین در این تحقیق، ابتدا میزان آب ورودی به تونل با استفاده از روش‌های تحلیلی و تجربی پیش‌بینی و سپس یک مدل ریاضی جدید توسعه خواهد یافت که به فضاهای زیرزمینی در محاسبه هزینه سیستم آبکشی، هزینه افت راندمان عملیات حفاری تونل و افزایش زمان بهره‌برداری، هزینه دفع سالم آب به خارج از فضای زیرزمینی و هزینه استهلاک ماشین‌آلات و تاسیسات کمک می‌کند. اهداف تحقیق حاضر را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

۱- تخمین میزان آب ورودی به تونل.

۲- توسعه یک رابطه اساسی، برای تصمیم گیری در مورد بودجه پروژه‌های حفاری فضاهای زیرزمینی با ایجاد یک مدل ریاضی برای برآورد هزینه ورود آب به فضاهای زیرزمینی.

۳- ساده بودن مدل حفظ شود به طوری که پرسنل غیر متخصص نیز بتوانند از آن استفاده کنند.

۴- اطمینان حاصل شود که پارامترهای ورودی به راحتی بتوانند به دست آیند.

با توجه به گسترش نیازهای کشور به مواد معدنی، معدن‌کاری و حفاری تونل در زمین‌های مختلف و شرایط پیچیده رو به فزونی است، بنابراین لازم است که محل و مقدار جریان آب به داخل تونل حتی المقدور پیش بینی شده و در ملاحظات حفاری تونل در نظر گرفته شود. برای رسیدن به هدف مذکور محققان روش‌های متنوعی را ابداع کرده‌اند که عبارتند از: ۱- روش‌های تحلیلی، ۲- روش‌های تجربی، ۳- روش‌های عددی.

مبنای روش‌های تحلیلی معادلات نظری است، اما روش‌های تجربی بر اساس آزمایش‌های فشار آب توسعه یافته‌اند. روش‌های تحلیلی با تکیه بر معادلات حاکم بر جریان آب به سمت تونل‌ها استوار هستند، با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر نفوذپذیری توده سنگ، ارتفاع سطح ایستایی، شعاع تونل و غیره به تخمین میزان نفوذ آب به تونل‌ها می‌پردازند. روش‌های تحلیلی که به طور معمول استفاده می‌گردند، شامل فرضیات ساده‌کننده‌ای از قبیل یک محیط متخلخل همگن و ایزوتروپ در اطراف تونل می‌باشند. با استفاده از این فرضیات ساده‌کننده می‌توان محیط‌هایی را که دارای ناپیوستگی‌های نامنظم و با هندسه پیچیده می‌باشند را به سادگی مدل‌سازی نمود. ولی ایراد اصلی این روش‌ها چشم‌پوشی از اندرکنش هیدرومکانیکی بین درزه‌ها می‌باشد؛ به همین دلیل این روش‌ها نمی‌توانند اثر مهم و برجسته درزه‌های اطراف تونل را بر نرخ تراوش آب زیرزمینی به درون تونل در نظر بگیرند. در حالی که روش عددی به مدل‌سازی شرایط در کامپیوتر و تجزیه و تحلیل نتایج می‌پردازد. اساس این روش تبدیل یک محیط با بی‌نهایت درجه آزادی به محیطی با درجه آزادی محدود، در تعدادی از نقاط محیط

می‌باشد. روش‌های عددی مختلفی وجود دارد که انتخاب آن‌ها بستگی به نوع مسئله دارد و با توجه به اندازه و سیستم هندسی شکستگی‌ها نوع روش تعیین می‌شود [۶].

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

در دنیای امروز به دلیل دستیابی به مواد معدنی و توسعه پایدار، معدن‌کاری از الزامات اقتصادی امروز می‌باشد. با استخراج ذخایر سطحی، برای تأمین مواد معدنی ناگزیر به معدن‌کاری عمیق می‌باشد که در غالب اوقات با سطح آب‌های زیرزمینی تداخل ایجاد می‌کند. معدن‌کاری در زیر سطح آب زیرزمینی باعث ایجاد مشکلاتی مانند افت راندمان عملیات حفاری تونل و افزایش زمان بهره‌برداری، استهلاک و خسارت به تاسیسات و ماشین‌آلات، آلودگی محیط زیست و آسیب به تجهیزات و افراد داخل معدن می‌شود.

با توجه به تأثیر متقابل اجرای سازه‌های زیر سطحی و برخورد با منابع آب زیرزمینی، مطالعات هیدروژئولوژی ضروری است و می‌بایست به مطالعه موضوعات مرتبط به آب‌های زیرزمینی در محدوده طرح‌های معدنی بها داده و توجه خاصی مبذول شود. چرا که در صورت عدم توجه به این منابع از یک طرف می‌تواند موجبات شکست پروژه و یا حداقل سبب ایجاد مسائل و مشکلاتی در مرحله اجرا شود که طولانی شدن مدت اجرای طرح و افزایش هزینه‌ها را به همراه خواهد داشت. از طرف دیگر اثر احداث این گونه سازه‌ها می‌تواند باعث هدر رفتن آب‌های زیرزمینی و کاهش پتانسیل این منابع و یا تغییر مسیر جریان طبیعی آن شود که مورد اخیر بر میزان تخلیه طبیعی (چشمه‌ها) و یا مصنوعی (قنات و چاه) تأثیر می‌گذارد. تغییر در میزان تخلیه این منابع می‌تواند مسائل اقتصادی و اجتماعی را در منطقه به بار آورد که حل این مسائل به سادگی امکان پذیر نمی‌باشد. جریان آب زیرزمینی در طول حفر تونل یکی از شایع‌ترین مشکلات است، و برای کنترل مناسب آن نیاز به ارزیابی محل و احتمال ورود آب به تونل می‌باشد [۶]. از جمله مشکلات ناشی از ورود آب به معدن سرب و روی انگوران، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف - آلودگی آب‌های زیرزمینی در اثر تشکیل زهاب اسیدی معدن.

- ب - ایجار فشار اضافه بر روی سیستم نگهداری، ناپایداری سینه کارها و ریزش سنگ در بعضی از کارگاه‌ها به صورت بلوک‌های سنگی بزرگ (مشاهده شکل ۱-۱).
- ج - تجمع آب در اتاق‌ها و گالری اصلی و سخت شدن عبور و مرور پرسنل (در بعضی اتاق‌ها ارتفاع آب تا ۵۰ سانتی‌متر) به دلیل درست انجام نشدن انفجار و ایجاد شیب منفی.
- د - تجمع آب با حجم زیاد در بخش‌های استخراج شده قدیمی قسمت شمالی معدن.
- ه - پر شدن غنو انتقال آب توسط رسوبات و پخش شدن آب در کف تونل (مشاهده شکل ۱-۱).
- و - صرف زمان و هزینه جهت پاک‌سازی آب اتاق‌ها و گالری اصلی توسط دستگاه LHD.
- ز - افت سطح آب زیرزمینی و احتمال خشک شدن چشمه‌ها.
- ح - احتمال تغییر مسیر و جهت جریان آب زیرزمینی و تاثیر بر تخلیه طبیعی چشمه‌ها و چاه‌ها.
- ط - کاهش تحرک ماشین آلات به دلیل گل و لای بودن و تجمع آب در کف فضای زیرزمینی.
- ی - وجود نداشتن غنو در رمپ و پخش شدن آب در سطح کف رمپ و ایجاد گل و لای و ناصاف شدن کف.
- ک - خارج شدن ریل‌ها و ایجاد وقفه در حمل ماده معدنی.



شکل ۱-۱ - نمایش شماتیک بخش‌های مختلف معدن زیرزمینی سرب و روی انگوران.

تأخیر در تخمین میزان آب ورودی به تونل، منجر به وارد شدن هزینه‌های غیر ضروری و خارج از برنامه به پروژه خواهد شد [۷]. بنابراین حفاری فضاهای زیرزمینی در زیر سطح آب زیرزمینی باعث ایجاد هزینه‌هایی می‌شود که گاهی اوقات می‌تواند باعث غیر اقتصادی شدن طرح شود. تخمین هزینه یکی از فعالیت‌های اصلی در تصمیمات تجاری و مهندسی بوده که در پروژه‌های معدنی نیز از جایگاه خاصی برخوردار است [۸]. مدل‌های تخمین هزینه از جمله ابزارهای مهم در بروز رسانی اطلاعات اقتصادی، انجام مطالعات اقتصادی، بودجه بندی و تأمین منابع مالی پروژه‌های ساخت است. پیچیدگی عملیات و کافی نبودن اطلاعات فنی و اقتصادی در مراحل اولیه مطالعات پروژه‌های تونل‌سازی، دسترسی به مدل‌های قابل اعتماد برآورد هزینه را ضروری می‌کند [۹].

۱-۴- پیشینه تحقیق

جریان ورودی آب‌های زیرزمینی به تونل‌های سنگی، موضوع تحقیق گسترده‌ای در مهندسی تونل در نیم قرن گذشته بوده است. در ادامه و همچنین در جدول‌های ۱-۱ و ۱-۲، به بیان مختصر پیشینه تحقیقات انجام شده در داخل و خارج کشور پیرامون موضوع تحقیق و نتایج آن‌ها و مرور ادبیات و چارچوب نظری تحقیق پرداخته شده است.

ورود آب به تونل وابسته به شرایط زمین شناختی و آب زمین شناختی منطقه است. روش استاندارد برای برآورد آب ورودی به تونل‌ها وجود ندارد [10]. مطالعات آب زمین شناسی در محیط‌های سازندهای سخت پیچیدگی‌های بسیاری دارد. علت این امر، وجود جریان آب زیرزمینی در محیط‌های غیر افشان است [11]. با وجود آن که در مسیر تونل‌ها، گمانه‌های اکتشافی حفر می‌شود؛ اما نتایج ژئوتکنیک دارای درستی کافی و جامعیت لازم در پروژه‌ها نیست [12].

بسیاری از طراحی‌های مهندسی تونل نیازمند برآورد آب ورودی در هنگام حفاری است. این مسئله در روش، نوع و برنامه‌ریزی حفاری‌ها بسیار مؤثر است. از مهم‌ترین و اولین روابطی که برای برآورد میزان نفوذ آب به درون تونل‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت؛ معادله گودمن و همکاران (۱۹۶۵) است. ایشان معادله خود را بر پایه جریان پایدار و با استفاده از معادلات داری و قانون بقای جرم ارائه دادند [13].

از آنجایی که گودمن و همکارانش در سال ۱۹۶۵ مکانیک آب زیرزمینی در تونل زنی را معرفی کردند تا جریان آب به تونل را به صورت تحلیلی پیش بینی کنند، بسیاری از محققان و مهندسين کارهای زیادی انجام داده و روش‌های بسیاری را برای محاسبه یا پیش بینی جریان آب در تونل‌ها توسعه داده‌اند. اکثر این روش‌ها تحلیلی بوده و به راحتی قابل درک و کاربرد هستند [14]. فریز و چری در سال ۱۹۷۹ اولین تصحیحات را روی معادله گودمن و همکارانش (۱۹۶۵) انجام دادند. تصحیحات آن‌ها بر پایه تغییر مفهوم بار آبی در آب ورودی به تونل بود. سپس اعلام شد معادله گودمن و همکارانش (۱۹۶۵) تا ۶۰ درصد خطا دارد [13].

هیور در سال ۱۹۹۵ یک روش نیمه تجربی کاربردی را برای پیش بینی جریان آب در تونل‌ها با استفاده از نمودارهای تجربی و یک رویکرد تحلیلی با استفاده از ضرایب تجربی اصلاح شده توسعه داد. این روش استفاده گسترده‌ای در صنعت تونل زنی کنونی دارد. با این حال، راه‌حل‌های تحلیلی تنها می‌تواند با در نظر گرفتن بسیاری از مفروضات از جمله خواص مواد، حالت جریان و شرایط مرزی به دست آید. روش‌های عددی مبتنی بر فرض پیوسته برای اولین بار در اوایل دهه ۱۹۷۰ برای حل جریان آب‌های زیرزمینی در تونل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. بسیاری از مشکلات، مانند تونل زنی در زمین لایه‌ای با اشکال مرزی پیچیده و با سرعت کل وابسته به زمان می‌تواند به راحتی با روش محاسباتی موجود حل شود. در سنگ سخت بیشتر جریان آب در امتداد درزه‌ها می‌باشد [14]. قانون مکعب، جهت محاسبه نفوذپذیری یک دسته درزه با بازشدگی ثابت و صفحات جدایش صاف، توسط اسنو در سال ۱۹۶۹ ارائه شد. در این قانون درزه‌ها به صورت صفحات موازی مدل شده‌اند. تئوری قانون مکعب بر این فرض استوار است که ناحیه جریان به طور کامل توسط درزه‌هایی با گسترش نامحدود قطع شده است [۲]. هیور در سال ۲۰۰۱ با بررسی نتایج واقعی آب ورودی به تونل، به این نتیجه رسید که معمولاً میزان آب واقعی کمتر از میزان آب برآوردی توسط روابط است. او بر پایه همین موارد ضریب موثر را به معادلات اضافه کرد [13]. ریمر در سال ۲۰۰۵ اظهار داشت "در تونل‌های سنگ سخت، بیشترین مقدار جریان آب در چند مکان و برخی از جریان‌ها در بسیاری از نقاط تونل رخ داده و بیشتر تونل خشک است". دلیل این

امر آن است که در سنگ سخت، جریان آب با شکستگی‌ها در ارتباط می باشد؛ چون این درزه‌ها به صورت دسته می باشند و جریان آب به طور معمول در دسته درزه‌ها متمرکز می شود. این پدیده را نمی توان با هر مدل پیوسته‌ای، چه تحلیلی و چه عددی مدل سازی کرد و شاید با برخی از مدل‌های گسسته نیز دسته درزه و درزه واقعی سنگ تولید نشود و این مدل‌ها قادر به شبیه سازی دسته درزه‌ها نباشند [14]. ریمر در سال ۲۰۰۵ با استفاده از نتایج ورود آب به چاه، آب ورودی به تونل را مورد بررسی قرار داد. کارلسرود نیز با کمی تفاوت به نتایج مشابهی رسید. لمباردی و همکارانش در سال ۲۰۰۲ با اعمال تغییراتی رابطه کارلسرود (۲۰۰۲) را تکمیل کردند. ال تانی در سال ۲۰۰۳ برآوردی را برای تونل‌هایی با عدم افت سطح آب زیرزمینی مطرح کرد و معادله جامع‌تری را مورد توجه قرار داد. او در معادله خود از همه روابطی که ارائه شده بود؛ به نوعی استفاده کرد. کسانو و همکارانش در سال ۲۰۰۳ مطرح کردند که ورود آب به تونل نه تنها به ساختار و هدایت هیدرولیکی، بلکه به روباره تونل‌ها نیز وابسته است. لی و همکارانش در سال ۲۰۰۸ در رابطه با فشار حفرات پیرامون تونل با آب ورودی به تونل تحقیق کردند. نفوذپذیری غیر قابل اعتمادترین و پیچیده‌ترین متغیر در برآورد آب ورودی به تونل است [13]. باید مشخص شود که نفوذپذیری توده سنگ پیرامون تونل تا چه بازه‌ای باید مورد توجه قرار گیرد و بررسی شود. در سال‌های گذشته، افزون بر مسئله آب ورودی به تونل، اهمیت تاثیرات آن هم بسیار مورد توجه قرار گرفته و مطالعات زیادی روی آن انجام شده است [15]. برای هر کدام از این مسائل، اهمیت شناخت آب زمین شناختی بسیار مهم است. نقش ساختارهای زمین شناسی در پتانسیل آب ورودی به تونل توسط زارعی و همکارانش در سال ۲۰۱۱ بررسی شد. جریان آب زیرزمینی در محور تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها شدت بیشتری دارد [16]. جوادی با مدل سازی آب در محیط‌های درز و شکافدار، نقش متغیرها و ساختارهای زمین شناسی را بسیار مهم معرفی کرده است. هر چند مدل سازی عددی نتایج دقیقی را در رابطه با آب ورودی به تونل می‌دهد؛ اما از آنجا که این مسئله مستلزم هزینه بالا و زمان بر است؛ بنابراین عملاً نمی‌توان آنها را در پروژه‌های اجرایی کارا دانست [17].

جدول ۱-۱- سابقه علمی و تحقیقات مشابه خارجی

سال	مطالعه	نویسنده
۲۰۱۷	در مقاله‌ای به بررسی هزینه‌های اقتصادی آبکشی معدن حاجوالیا پرداخته شده است. محاسبه هزینه‌ها بر اساس حجم آب داخل معدن و میزان برق مصرفی پمپ‌های مورد نیاز در فرآیند آبکشی صورت گرفته است.	زقیری و همکاران [18]
۲۰۱۲	در این مقاله جریان آب زیرزمینی به تونل دایره‌ای در حالت پایدار مورد بررسی قرار گرفته و راه حل‌های تحلیلی و مدل‌های عددی برای محاسبه جریان ورودی به تونل مقایسه شده‌اند.	بورچر [19]
۲۰۱۲	در مطالعه‌ای به چگونگی ارزیابی هزینه‌های یک سیستم آبکشی پرداخته شده است. برآوردگر باید به طور خاص عوامل خاصی از جمله عمق آبکشی، مدت بهره‌برداری، اندازه کلی سیستم و مدت زمانی که سیستم بکار گرفته می‌شود را در نظر بگیرد. همه این عوامل می‌توانند بر روی پیشروی و قیمت تاثیر بگذارند.	باسانا [20]
۲۰۱۱	در مطالعه‌ای به ارزیابی هزینه‌های آبکشی یک معدن زغال سنگ پرداخته است. این مقاله به مطالعه منابع آب و تهدید آن در معادن روباز و زیرزمینی، کنترل و تاثیر آن بر هزینه‌های سرمایه‌گذاری معدن پرداخته است.	معللو [21]
۲۰۱۱	در مقاله‌ای به پیش بینی ورود آب به تونل شهری در تونل زنی با ماشین پرداخته شده است. در این مطالعه مشخصات سه بعدی زمین شناسی و ژئوفیزیکی ناحیه نمایش داده شده و یک مدل عددی شبه دو بعدی با شرایط مرزی جبهه کار تونل برای شبیه سازی تعامل آبخوان تونل ساخته شده است. مدل به درستی تغییرات ارتفاع آب و مقدار جریان ورودی تونل در عبور از گسل‌ها و برخی دایک‌ها را پیش بینی می‌کند. این روش مکان‌های خطرناکی که بایستی آبکشی انجام شود را تعیین می‌کند.	فونت کاپو و همکاران [22]
۲۰۱۰	از روش‌های تحلیلی برای تخمین میزان جریان ورودی آب‌های زیرزمینی با توجه به کاهش میزان آب‌های زیرزمینی استفاده شده است. راه حل‌های تحلیلی پیشنهادی با مشاهدات میدانی و نیز نتایج حاصل از تحلیل عددی مقایسه شده است.	مون و فرناندز [23]
۲۰۰۹	در مقاله‌ای به مطالعه جریان آب‌های زیرزمینی به تونل‌ها پرداخته شده و یک سیستم ابتکاری جمع آوری آب برای تخلیه پیشنهاد شده است.	لی و همکاران [24]
۲۰۰۹	برای ارزیابی جریان آب ورودی به تونل در سنگ شکسته از مدل سازی عددی استفاده شده است.	گاتونینی [25]
۱۹۹۹	یک راه حل تحلیلی برای جریان پایدار به تونل ارائه داده است.	لی [26]
۱۹۹۳	در این تحقیق یک راه حل تحلیلی برای پیش بینی جریان ورودی به تونل ارائه شده است که نشان دهنده کاهش چشمگیر هدایت هیدرولیکی با عمق است. پیش بینی‌ها توسط مدل سازی عددی مورد تایید قرار گرفته و با جریان‌های ورودی به تونل‌ها در شرایط مختلف سنگ‌ها مقایسه شده است.	ژانگ و فرانکلین [27]

جدول ۱-۲- سابقه علمی و تحقیقات مشابه داخلی

سال	مطالعه	نویسنده
۱۳۹۷	یک مطالعه مقایسه‌ای در مورد ارزیابی جریان آب زیرزمینی حالت پایدار به یک تونل دایره‌ای کم عمق صورت گرفته است. این روش‌ها عبارتند از: راه حل‌های تحلیلی، روش‌های تجربی و مدل‌سازی عددی. نتایج نشان می‌دهد تمام روش‌ها نتایج سازگاری ارائه می‌دهند، با این وجود در صورت عدم وجود اطلاعات کافی، معادله ریمر می‌تواند برآورد قابل اعتمادتری از نرخ جریان برای تونل‌های کم عمق در مقایسه با سایر راه حل‌های تحلیلی و تجربی ارائه دهد که به دلیل همبستگی بالاتر با نتایج عددی است.	حسینی و همکاران [28]
۱۳۹۶	ورود آب به تونل انتقال آب کرج توسط روش‌های تحلیلی و تجربی برآورد شده و اندازه‌گیری روزانه آب واقعی ورودی به تونل اختلافاتی را با این روش‌ها نشان داده است. در این پژوهش، بر پایه مقایسه میان ارقام واقعی و پیش بینی‌های صورت گرفته، روابطی برای شرایط مشابه آب زمین شناختی ارائه شده است.	مرسلی و همکاران [۲۹]
۱۳۹۵	در این پژوهش به تجزیه و تحلیل عددی جریان آب زیرزمینی پایدار به تونل مترو خط ۲ تبریز با توجه ویژه به ابعاد مدل پرداخته شده است.	حسینی و همکاران [30]
۱۳۹۵	در این یادداشت فنی، یک رویکرد ارائه شده است که یک مدل بهینه را برای شبیه‌سازی عددی جریان ورودی تونل در سنگ شکسته ایجاد می‌کند. این رویکرد از UDEC دو بعدی استفاده می‌کند.	فرهادیان و همکاران [31]
۱۳۹۵	در مقاله‌ای به ارزیابی ورود آب زیرزمینی به تونل انتقال آب کرج پرداخته شده است. در این تحقیق جریان آب‌های زیرزمینی به تونل انتقال آب کرج با استفاده از روش‌های تحلیلی و عددی در ۱۲ بخش مختلف تونل تخمین زده شده است. حداکثر جریان آب به تونل با استفاده از روش‌های تحلیلی و عددی به ترتیب ۰/۰۵۳۶ و ۰/۰۴۳۲ لیتر بر ثانیه بر متر تخمین زده شده است.	حسینی و همکاران [32]
۱۳۹۵	در پژوهشی به تعیین تانسور نفوذپذیری توده سنگ و پیش بینی جریان ورودی به تونل انتقال آب کرمان پرداخته شده است. مقدار دبی نشت به کمک روش‌های مختلف تجربی و تحلیلی برآورد شده است.	غلامی [۲]
۱۳۹۵	در این تحقیق کوشش شده که با روش‌های موجود تحلیلی، تجربی و عددی و همچنین با استفاده از روش تحلیل برگشتی، پارامترهای هیدرودینامیکی توده سنگ تخمین زده شود و سپس ارزیابی میزان آب ورودی به تونل در توده سنگ‌های درزه‌دار مشابه مورد ارزیابی قرار داده شده است.	خردمندزاده [۶]
۱۳۹۵	در پژوهشی به شبیه‌سازی شبکه جریان در آبخوان آبرفتی پیرامون بخش شرقی - غربی تونل ۷ مترو تهران پرداخته شده است. در این پژوهش با استفاده از روش مدل‌سازی عددی اجزاء محدود (با استفاده از نرم افزار Seep/w از مجموعه Geo studio) میزان دبی ورودی به کیلومتر از ۲۶۰+۷ خیابان مولوی تخمین زده شده است.	مرادی [۷]
۱۳۹۵	میزان آب ورودی به تونل توسعه جنوبی خط ۶ متروی تهران به سه روش تحلیلی، تجربی و عددی محاسبه شده است. برای روش تحلیلی و تجربی از یک نوع نرم افزار که مبتنی بر تحلیل مونت کارلو می‌باشد، استفاده شده است و برای محاسبات عددی نیز نرم افزار المان محدود Seep/w مورد استفاده قرار گرفته است.	عبدی و همکاران [۳۳]

ادامه جدول ۱-۲- سابقه علمی و تحقیقات مشابه داخلی		
۱۳۹۴	در این تحقیق به تخمین میزان نشت آب زیرزمینی به تونل امیرکبیر با استفاده از روش‌های تحلیلی، تحلیل المان گسسته (DEM) و SGR برای ۱۴ بخش مختلف تونل پرداخته شده است. این مطالعه نشان دهنده مطابقت معقولی بین تمام روش‌ها به جز در دو بخش از تونل می‌باشد.	فرهادیان و کتیبه [۳۴]
۱۳۹۴	در این مقاله برای پیش بینی میزان جریان آب ورودی به تونل انتقال آب آزاد کردستان در توده سنگ ناپیوسته، تحلیل عددی به کمک نرم افزار UDEC پرداخته شده است.	اکبری و همکاران [۳۵]
۱۳۹۴	در این تحقیق به منظور برآورد و پیش بینی نشت و هجوم آب به داخل تونل از روش‌های تحلیلی و تجربی لی و هیوور استفاده شده است. نتایج حاصل از محاسبات نشان می‌دهد که اختلاف نسبتاً زیادی بین نتایج به دست آمده از دو روش وجود دارد.	رمضان نیا و همکاران [۳۶]
۱۳۹۴	در مطالعه‌ای به تخمین میزان آب ورودی به تونل‌های واقع در قطعه دوم آزاد راه تهران شمال پرداخته شده است. در این تحقیق با توجه به مقیاس وسیع کار و نبود گمانه‌های اکتشافی کافی، سعی شده است تا با استفاده از روش‌های تحلیلی میزان آب ورودی به تونل‌های واقع در قطعه دوم مسیر آزاد راه تهران شمال تخمین زده شود.	معدن کن و همکاران [۳۷]
۱۳۹۴	به تحلیل تراوش در تونل انتقال آب چشمه روزیه در مرحله ساخت و بهره‌برداری با بهره گیری از شبیه سازی عددی پرداخته شده است.	احمدزاده و همکاران [۳۸]
۱۳۹۳	در این پژوهش به بررسی علل و میزان نشت آب به تونل خط ۷ متروی تهران با استفاده از مدل ریاضی پرداخته شده است. نشت آب به تونل با استفاده از روش‌های تحلیلی گودمن و مدل سازی اجزاء محدود (با نرم افزار GW) محاسبه و با هم مقایسه شده است.	استاد هادی [۳۹]
۱۳۹۲	در این مقاله برای مدل سازی تاثیر خصوصیات ناپیوستگی‌ها بر روی نرخ جریان آب ورودی به تونل در مقطع کیلومتراژ ۱+۸۹۷ تا ۱+۹۵۰ تونل کوه‌رنگ ۳، از نرم افزار UDEC استفاده و با تغییر خصوصیات ناپیوستگی‌های منطقه، نرخ جریان ورودی به تونل بررسی شده است.	رفیعی و همکاران [۴۰]
۱۳۹۲	در این تحقیق، جریان آب به تونل با استفاده از تجزیه و تحلیل عددی هیدرومکانیکی محاسبه شده است و اثر خواص توده سنگ از جمله ویژگی‌های درزه در جریان ورودی با استفاده از یک روش دو بعدی المان مجزا (UDEC) مورد بررسی قرار گرفته است.	شریف زاده و همکاران [41]
۱۳۹۱	بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته توسط دو روش تحلیلی هیور و لی میزان نشت آب به داخل تونل امیرکبیر، در ۱۴/۴ کیلومتر از این تونل در حدود ۱۷۰ لیتر در ثانیه جریان می‌یابد که با مقادیر اندازه‌گیری شده برجای محیط همخوانی دارد.	قاسمی و کاظمی [42]
۱۳۹۰	در بحث آبکشی و آبرسانی در معادن به صورت تئوری به محاسبه هزینه‌های آبکشی در معادن پرداخته و بیان شده است، در حالت کلی هزینه‌های آبکشی در معادن به عواملی چون میزان آبکشی، نوع و بهای انرژی مصرفی، نوع آب (تمیز یا کثیف بودن، خوردگی و ...)، چگونگی طراحی سیستم، استهلاک دستگاه‌ها، نگهداری، هزینه تلمبه و انتقال نیرو و سایر قسمت‌های سیستم بستگی دارد.	مدنی [۴۳]

ادامه جدول ۱-۲- سابقه علمی و تحقیقات مشابه داخلی

سال	مطالعه	نویسنده
۱۳۹۰	در این تحقیق از روش‌های تحلیلی و تجربی و عددی جهت ارزیابی میزان آب ورودی به تونل آسپر استفاده شده است. نتایج حاصل از روش‌های تحلیلی تجربی و عددی با مقدار واقعی دبی موجود در تونل آسپر مقایسه شده و خطای هر یک محاسبه گردیده است.	خدادادی [۴۴]
۱۳۹۰	در تحقیقی به ارزیابی اعتبار روش‌های مختلف تخمین جریان آب نفوذی به تونل انتقال آب گلاب پرداخته شده است.	عباسی و همکاران [۴۵]
۱۳۹۰	در این مقاله با استفاده از روش مدل‌سازی عددی با استفاده از نرم افزار GMS7.0 و روش‌های تحلیلی میزان نفوذ آب زیرزمینی به قطعه شرقی - غربی تونل خط هفت متروی تهران تخمین زده و مقایسه شده‌اند.	زارع و همکاران [۴۶]
۱۳۸۷	در این مقاله با استفاده از مدل‌سازی عددی اجزاء محدود (نرم افزار SEEP/W) به بررسی و تعیین میزان آب ورودی به داخل تونل راه آهن کوهین در بخش‌های مختلف حفاری پرداخته شده است.	میکائیل و دولتی ارده جانی [۴۷]
۱۳۸۷	در مطالعه‌ای به بررسی دبی آب نشتی از تونل انتقال آب بهشت آباد با استفاده از روش‌های تحلیلی و عددی پرداخته شده است. در این تحقیق ابتدا تونل پهنه‌بندی و ضرایب تراوایی، هد خارجی آب و پارامترهای ژئومکانیکی پهنه‌ها بررسی شده است	مهدوری و همکاران [۴۸]
۱۳۸۵	در این مقاله به کمک نرم افزار Plaxis ، میزان نفوذ آب به تونل انتقال آب قمرود محاسبه شده و نتایج حاصل از آن با نتایج به دست آمده از روش‌های تحلیلی مقایسه شده اند، خطای نسبی میان نتایج حاصل از روش‌های تحلیلی و نتایج به دست آمده از این نرم افزار در حدود ۵ درصد است که نشان دهنده صحت قابل قبول نتایج به دست آمده است.	کتیبه و عالی انوری [۴۹]
۱۳۸۵	در این مقاله جریان نشت آب زیرزمینی به تونل انتقال آب قمرود توسط نرم افزار TunSeep تخمین زده شده است. با تکیه بر روش‌های تحلیلی نرم افزاری جهت محاسبه میزان نفوذ آب به درون تونل‌های سنگی نوشته شده که نتایج آن نزدیک به روش تجربی هیور می‌باشد.	کتیبه و عالی انوری [۵۰]

۱-۵- جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق

جریان آب می‌تواند برنامه‌های از پیش تعیین شده برای حفاری تونل را تحت تاثیر قرار دهد و همان گونه که جریان آب افزایش می‌یابد هزینه‌های تونل زنی نیز افزایش می‌یابد [۶]. تخمین و برآورد هزینه‌های ناشی از ورود آب به فضاهاى زیرزمینی، امری بسیار مهم و حیاتی است. با مرور پیشینه تحقیقات انجام شده در داخل و خارج کشور مشخص شد که تاکنون پژوهشی به بررسی و ارائه مدلی برای تخمین

هزینه‌های ناشی از ورود آب به فضاهای زیرزمینی با توجه به دبی آب ورودی نپرداخته است. لذا همواره یکی از ضروری‌ترین مسائلی است که بایستی به آن توجه نمود.

۱-۶- روش تحقیق و گردآوری اطلاعات

در این تحقیق میزان آب ورودی به تونل با استفاده از روش‌های تجربی و تحلیلی پیش بینی خواهد شد و سپس یک مدل ریاضی جدید توسعه خواهد یافت که به فضاهای زیرزمینی در محاسبه هزینه سیستم آبکشی، هزینه افت راندمان عملیات حفاری تونل و افزایش زمان بهره‌برداری، هزینه دفع سالم آب به خارج از فضای زیرزمینی و هزینه استهلاک ماشین آلات و تاسیسات کمک می‌کند. به طور کلی مراحل اجرای تحقیق به صورت زیر خواهد بود:

مرحله اسنادی: با استفاده از منابع کتابخانه‌ای، پایگاه‌های اطلاع رسانی، مقالات و مآخذ مربوط به موضوع گردآوری می‌شود. در این مرحله موضوع مورد تحقیق به طور کلی از جنبه‌های مختلف تاریخی و نظری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

مرحله داده‌های میدانی: داده‌های ورودی و اولیه این تحقیق در این مرحله گردآوری می‌شود.

- جمع آوری اطلاعات زمین شناسی مهندسی مسیر تونل (تفکیک واحدهای زمین شناسی مهندسی، مشخصات فنی طرح، خصوصیات ژئومکانیکی مقطع، مشخصات ناپیوستگی‌ها و ...).

- جمع آوری اطلاعات هیدروژئولوژی تونل.

- جمع آوری داده‌های برداشت‌های صحرایی، آزمایش‌های مکانیک سنگ، تست تعیین نفوذپذیری و ...

مرحله تخمین دبی آب ورودی به تونل: در این مرحله ابتدا نقش ساختارهای زمین شناسی در هدایت آب به تونل مورد بررسی قرار گرفته و سپس با استفاده از روش‌های تحلیلی و تجربی میزان آب ورودی به تونل محاسبه شده و با مقدار واقعی آن مقایسه خواهد شد.

نهایتاً؛ توسعه مدل ریاضی جدید برای محاسبه هزینه‌های سیستم آبکشی، دفع سالم آب به خارج از فضاهای زیرزمینی و همچنین محاسبه هزینه‌های آبکشی معدن سرب و روی انگوران با استفاده از روابط ارایه شده است.

۱-۷- ساختار پایان نامه

این پایان نامه دارای پنج فصل کلی است که هر کدام از آنها قسمتی از ارایه گزارش تحقیق را بر عهده دارد. در فصل اول به طرح مسئله، کلیات حفاری فضاهای زیرزمینی در زیر سطح آب زیرزمینی و ورود آب به تونل، هزینه‌های آبکشی، اهداف کلی و جزئی از انجام تحقیق، ضرورت و اهمیت آن اشاره شده است. همچنین در این فصل به بیان مختصر پیشینه تحقیقات انجام شده در داخل و خارج کشور در پیرامون موضوع ورود آب به تونل، روش‌های تخمین دبی آب ورودی به تونل و هزینه‌های آبکشی پرداخته شده است. در فصل دوم به توصیف شرایط عمومی منطقه معدن سرب و روی انگوران، زمین شناسی مهندسی مسیر تونل و خصوصیات ژئومکانیکی آن پرداخته شده است. در فصل سوم ابتدا پارامترهای موثر سنگ و تونل در جریان آب به درون تونل مورد بررسی قرار گرفته و سپس روش‌های پیش‌بینی میزان جریان آب به تونل به صورت کامل و مفصل شرح داده شده است. در فصل چهارم ابتدا نتایج تست‌های لوژان انجام شده در معدن و نقش ساختارهای زمین شناسی در انتقال آب به درون تونل مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته، سپس با استفاده از روابط تحلیلی و روش تجربی میزان ورود آب به تونل محاسبه و با مقدار واقعی مقایسه شده است. در نهایت مدلی ریاضی برای تخمین هزینه‌های آبکشی ارایه شده است. فصل پنجم به معرفی پیشنهادات و نتایج تحقیق پرداخته است.

فصل دوم

معرفی و بررسی اجمالی معدن سرب و روی انگوران

۱-۲- شرایط عمومی منطقه انگوران

۱-۱-۲- موقعیت جغرافیایی معدن سرب و روی انگوران

معدن سرب و روی انگوران در شمال غرب ایران، در ۱۳۵ کیلومتری جنوب غربی زنجان واقع شده است. این معدن در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه و ۴۷ ثانیه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۲۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه طول شرقی، و در ارتفاع حدود ۲۹۵۰ متر از سطح دریا واقع شده است. نزدیکترین روستا به معدن، روستای قلعه جوق با جمعیت ۲۰۰ نفر و نزدیکترین شهر به آن، دندی با جمعیت دو هزار نفر می‌باشد. راه اصلی دسترسی به معدن از شهر زنجان دارای مسافتی در حدود ۱۲۰ کیلومتر است. در شکل ۱-۲ موقعیت جغرافیایی معدن سرب و روی انگوران نمایش داده شده است [۵۱].



شکل ۱-۲- موقعیت جغرافیایی معدن سرب و روی انگوران [۵۱].

۲-۱-۲- شرایط آب و هوایی منطقه

محدوده معدن دارای زمستان‌های سرد و پر بارش است، به طوری که بارش برف سنگین و باد شدید در زمستان‌ها، دسترسی از زنجان به دندی را با مشکل مواجه می‌سازد. در بیشتر سال‌ها بخاطر زمستان‌های سرد، فعالیت‌های معدنی نیز گاهی تا چهار الی پنج ماه از سال دچار وقفه می‌شده است. اختلاف درجه حرارت در شبانه‌روز و همچنین بین فصول سرد و گرم در محل معدن زیاد است. حداقل درجه حرارت ثبت شده در معدن انگوران ۲۲- درجه و حداکثر آن، ۴۰+ درجه سانتیگراد می‌باشد. میزان

بارش سالیانه معدن به طور متوسط ۳۴۰ میلی‌متر گزارش شده است. میانگین رطوبت در فصل سرد ۶۰ درصد و در فصل گرم ۴۰ درصد است.

اقلیم حاکم بر معدن انگوران کوهستانی و سرد است. ارتفاعات با قرار گرفتن در مقابل توده‌های هوایی تأثیرگذار، ریزش‌های جوی را امکان پذیر می‌سازد. دمای متوسط در ارتفاعات ۲۸۰۰ متری معدن انگوران برابر ۴/۶ درجه سانتیگراد می‌باشد. لذا اقلیم منطقه با شاخص به دست آمده، از نوع مرطوب می‌باشد. بر اساس روابط آمبرژه، با توجه به ارتفاع محدوده معدن انگوران که ۲۸۰۰ متر می‌باشد، متوسط حداکثر دمای سالانه در منطقه معدن انگوران برابر ۹/۱۱ درجه سانتیگراد و متوسط حداقل دمای آن در بهمن ماه می‌باشد. لذا متوسط درجه حرارت دو ماه مذکور به ترتیب برابر ۱۷/۳ و ۱۰/۵- می‌باشد [۵۱]. بر اساس گزارش اداره هواشناسی استان زنجان میانگین رطوبت و بارندگی در منطقه در سال‌های مختلف در پیوست ۱ آورده شده است [۵۲].

۲-۲- زمین شناسی عمومی منطقه انگوران

معدن سرب و روی انگوران در شمال غرب ایران و در زون ساختاری سنندج - سیرجان متعلق به کمربند کوهزایی زاگرس قرار گرفته است. کمربند کوهزایی زاگرس در اثر برخورد صفحه عربستان و میکروپلیت کوچک‌تر حاصل از گندوانا و پس از فرورانش اقیانوس نئوتتیس در کرتاسه فوقانی تشکیل شده است. در منطقه مورد مطالعه مجموعه سنگ‌های اولترامافیک - مافیک مشتمل بر سرپانتینیت، دونیت‌ها و پریدوتیت‌های سرپانتینیزه، متاپیروکسنیت‌ها، گابروها و متادولریت به صورت رخنمون‌های پراکنده در مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگونی متعلق به رخساره شیست سبز تا آمفیبولیت با روند شمال غربی - جنوب شرقی و شیب شمال شرقی دیده می‌شوند و بیانگر کمپلکس‌های مربوط به جزایر قوسی در اقیانوس‌ها می‌باشند. سن سنجی‌های انجام شده با روش U/Pb بر روی زیرکن‌های گرانیت‌های منطقه نشان می‌دهد که این گرانیت‌ها در زمان پان آفریکن (حدود ۵۶۰ میلیون سال پیش) تشکیل شده‌اند. حمدی در مرمرهای منطقه انگوران فسیل‌های مربوط به کامبرین پیشین را گزارش کرده است. بنابراین سن قدیمی‌ترین مجموعه سنگی در منطقه نئوپروتروزوئیک - کامبرین می‌باشد. سنگ‌های ذکر شده به

وسیله سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های رسوبی قاره‌ای و دریایی به صورت دگرشیب پوشیده می‌شوند. این سنگ‌های رسوبی در اواخر پالئوژن و اوایل نئوژن و در اثر کشش داخل حوضه‌ای رسوب کرده و متعاقباً در طول گسل‌های ایجاد شده در سنگ‌های قدیمی بالا آمده و در موقعیت فعلی قرار گرفته‌اند. این منطقه بیشتر از سنگ‌های دگرگونی مانند انواع شیست‌ها، مرمر، گنایس و آمفیبولیت تشکیل شده است که با روند شمال غربی - جنوب شرقی در بخش میانی محدوده مورد نظر قرار گرفته‌اند و ارتفاعات را تشکیل می‌دهند (مانند کوه بلقیس با ارتفاع ۳۳۳۰ متر). این سنگ‌ها مستقیماً توسط واحدهای سنگی اولیگومیوسن به طور ناهم‌ساز پوشیده شده‌اند. به نظر می‌رسد سنگ‌های دگرگونی که مجموعه‌ای با زمان پرکامبرین تا پالئوژوئیک بالا را تشکیل می‌دهند از دوران دوم تا اواسط تریسیری بلندی‌های مرتفعی را تشکیل می‌داده‌اند که هیچ گونه رسوبگذاری بر روی آنها صورت نگرفته و یا اندک رسوبگذاری احتمالی نیز در اثر بالا آمدگی و فرسایش از بین رفته است. نقشه زمین شناسی منطقه انگوران در پیوست ۲ آمده است [۵۱].

۲-۳- مطالعه هیدروژئولوژی معدن سرب و روی انگوران

هیدروژئولوژی یا آب‌های زیرزمینی در یک منطقه، به همان میزان که به رفتار هیدرولوژیکی منطقه مرتبط می‌باشد با زمین‌شناسی و ساختمان‌های زیرسطحی نیز ارتباط دارد. اطلاع از میزان، نوع و فراوانی بارش‌ها برای برآورد زمان‌های اشباع توده سنگ و یا بروز تغییرات در سطح سفره آب‌های زیرزمینی، ضروری می‌باشد. به منظور بررسی بارش در منطقه مطالعاتی، تعداد ۶ ایستگاه که در محدوده منطقه مورد مطالعه قرار داشتند انتخاب گردید. بر اساس رابطه ارائه شده مقدار بارش متوسط سالانه در محدوده معدن انگوران برابر $496/8$ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به در دسترس بودن آمار ماهانه ایستگاه انگوران برای یک دوره ۲۷ ساله و با فرض این که توزیع بارش در منطقه یکسان می‌باشد، از نسبت متوسط بارش در منطقه معدن به متوسط بارش در ایستگاه انگوران، ضریب بارش ماهانه استخراج و بر مبنای آن بارش متوسط ماهانه در منطقه معدن تعیین شده است. از این مقدار بارش $109/3$ میلی‌متر معادل $22/1$ درصد در فصل پائیز، 165 میلی‌متر برابر $33/3$ درصد در فصل

زمستان، ۱۹۵/۸ میلی متر معادل ۳۹/۵ درصد در فصل بهار و ۲۵/۳ میلی متر معادل ۵/۱ درصد در فصل تابستان نازل می شود. بر اساس مطالعات انجام شده تعداد روزهای بارانی در منطقه انگوران ۴۳ روز در سال می باشد که ماه اردیبهشت با ۷/۱ روز بیشترین تعداد روزهای بارانی را داشته است. در طول دوره آماری در ایستگاه انگوران ۴۴ واقعه بارش بیش از ۳۰ میلی متر و ۱۳ واقعه بارش بیش از ۵۰ میلی متر وجود داشته است. بر مبنای رابطه فوق، ضریب برف در منطقه معدن انگوران با ارتفاع ۲۸۰۰ متر برابر ۰/۶۹ می باشد. هم چنین در منطقه مذکور خط ماندگاری برف تا اوایل خرداد ماه می باشد به طوری که در مهر ماه در ارتفاع ۴۰۰۰ متری، در اسفند ماه در ارتفاع ۱۲۰۰ متری و در اردیبهشت تا ۲۶۰۰ متری پوشیده از برف می باشد. در منطقه مورد مطالعه از آبان ماه تا اوایل خرداد منطقه پوشیده از برف بوده و پایدار و ماندگار می باشد. منطقه مورد مطالعه در حوزه آبخیز انگوران و پری چای از سرشاخه های قزل اوزن می باشد. در این منطقه تنها ایستگاه هیدرومتری ماهنشان وجود داشته که در سال ۱۳۵۶ تعطیل شده است. بدین سان، برای برآورد پارامترهای هیدرولوژیک منطقه، نیاز به تعیین روابط منطقه ای با استفاده از آمار رودخانه های مجاور می باشد. به منظور رفع نواقص آماری، تعدادی از ایستگاه هایی که دارای مساحت کوچک تری بودند و مساحت آن ها نزدیک به حوزه مطالعاتی بوده است انتخاب گردید. پس از تشکیل ماتریس همبستگی بین ایستگاه ها خلاء آماری تکمیل شده است. ایستگاه های مورد مطالعه برای استخراج روابط منطقه ای عبارت بودند از بیانلو، هشتاد جفت، سرچم، موتورخانه، یالتی، نیکی کند و قرنقو که از نظر مساحت دارای اختلاف زیادی با حوزه مورد مطالعه نمی باشند. با بررسی های به عمل آمده، حوزه آبخیز قرنقو با حوزه مورد مطالعه مشابهت بیشتری نسبت به سایر حوزه ها دارد. لذا با تعیین ضریب آبدهی متوسط ماهانه در حوزه مورد مطالعه و مقادیر آبدهی، زیر حوزه انگوران محاسبه گردید. از ماه های اسفند تا خرداد جریان رودخانه افزایش می یابد، حجم آب جاری شده ناشی از افزایش ذوب برف در ۴ ماهه مذکور برابر ۲۹/۴۲ میلیون مترمکعب می باشد که افزون بر آب رودخانه شده و به صورت جریان سیلابی از منطقه خارج می شود. حداکثر جریان مربوط به ماه های فروردین و اردیبهشت می باشد، که ناشی از ذوب برف در اثر گرم شدن دمای هوا است. بنابراین در بقیه ماه های سال به دلیل

اینکه بارش به صورت برف نازل می‌شود، سیلاب در حوضه جاری نشده و رودخانه کم‌ترین میزان دبی را دارا است. با توجه به توپوگرافی منطقه، حوضه آبرگیر مشرف به معدن زیرزمینی حدود هفتاد هکتار می‌باشد. میزان بارندگی سالیانه طبق گزارش‌های موجود مربوط به معدن انگوران ۳۴۰ میلی‌متر در سال است. قسمت اعظم بارندگی نیز به صورت برف بوده و در فصل سرما صورت می‌گیرد. مقدار آب در چنین سطحی برابر ۲۳۸ هزار مترمکعب در سال و برابر ۲۷ مترمکعب در ساعت می‌باشد. باید در نظر داشت که بارندگی نامنظم بوده و در شرایط خاص، بارندگی ۱۰۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت را می‌توان انتظار داشت. این میزان بارندگی در حوضه آبرگیر ۷۰ هکتار برابر ۲۹۱۶ مترمکعب در ساعت می‌باشد.

آب زیرزمینی معدن سرب و روی انگوران، به حالت عادی یا تحت فشار و به صورت بسته‌ها یا سفره‌های معلق با گسترش محدود شناخته شده است. هندسه این سفره‌ها که عمدتاً منطبق بر توده معدنی است، تحت کنترل ساختارهای موجود می‌باشد. بنابراین نه تنها حجم مخازن آب زیرزمینی در این سیستم کم است، بلکه ماهیت مجزایی داشته و ارتباط هیدرولیکی کاملی بین سفره‌های آب زیرزمینی وجود ندارد. به همین جهت، مقدار آب زیرزمینی ذخیره شده در این سیستم نسبتاً کم است. از طرفی حوضه آبریز محدوده معدن نیز کوچک بوده و آب سطحی که بتواند این سیستم را تغذیه نماید، محدود و ناچیز می‌باشد. میزان سیلاب با توجه به سطح ناچیز حوضه آبریز معدن بسیار اندک است. اما با توجه به سیستم تخلخل سازندهای زمین‌شناسی که عمدتاً به صورت درزه‌های ساختاری و شکاف‌های انحلالی توسعه نیافته می‌باشد، تغذیه ناچیز از طریق بارندگی، سریعاً درزه و شکاف موجود را پر نموده و سفره‌های محلی با ذخیره اندک تشکیل می‌شوند.

منطقه از نظر بارش، در شرایط مناسبی از نظر میزان کل بارش قرار دارد. لذا شرط دوم جهت شکل‌گیری سفره آب زیرزمینی، وجود ساختمان‌های زیرسطحی مناسب برای جذب و نگهداری آب‌های نفوذی می‌باشد. همان‌طور که شرح داده شد، منطقه مورد مطالعه در زون سنندج - سیرجان واقع گردیده است. یکی از مهم‌ترین خصوصیات زمین‌شناسی ساختمانی این زون، پیچیدگی سیستم گسل‌خوردگی و خردشدگی آن می‌باشد. به همین دلیل، اغلب لایه‌ها و تشکیلات زمین‌شناسی که به طور معمول

منبع مناسبی برای انتقال و ذخیره آب می‌باشند (نظیر تشکیلات آهکی توده‌ای)، به دلیل محاط بودن در سیستم‌های متعدد گسلی و عدم پیوستگی، فاقد توان ایجاد سفره آبی با حجم و وسعت قابل توجه می‌باشند. مطالعه روان‌آب موجود در منطقه نیز حاکی از این واقعیت بوده که منابع بارش در منطقه نیز به صورت روان‌آب‌های سطحی در ماه‌های فصل بهار، سریعاً از منطقه خارج می‌شود. بخشی از این روان‌آب‌ها نیز پس از نفوذ محدود و کم حجم آب در آهک‌های کم ضخامت، سریعاً به صورت چشمه‌های نشتی از آهک‌ها تخلیه می‌گردند. مشاهدات میدانی و اطلاعات جمع‌آوری شده از سوابق در معدن نیز این واقعیت را به خوبی تایید می‌کند. بر اساس اطلاعات حفاری در معدن، معمولاً در حفاری‌های داخل آهک‌ها نشت آب مشاهده نمی‌گردد و به دلیل عدم تغذیه آهک‌ها از حوضه مجاور، وجود ذخیره آبی یا سفره آب در تشکیلات آهکی منطقه نیز محتمل نمی‌باشد.

به طور کلی، در مورد سایت مورد مطالعه می‌توان اشاره نمود که آب دریافتی آهک‌ها، محدود به میزان بارش بر روی آن‌ها بوده و به دلیل خردشدگی شدید، آب دریافتی سریعاً به لایه‌های پایینی انتقال می‌یابد.

لایه‌های زیر آهک‌ها عمدتاً تشکیلات شیستی بوده که به شیست‌های با درجات مختلف متامورفیکی و هوازدگی‌های متفاوت محدود می‌گردند. شیست‌ها معمولاً دارای سطوح جداشدگی زیادی در جهت شیستوزیته، فولیشن و خردشدگی‌ها می‌باشند. خلل و فرج شیست‌ها به دلیل بافت نرم و مستعد هوازدگی، سریعاً توسط مواد هوازده پر شده و از رطوبت نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشند. شیست‌ها معمولاً دارای توان ذخیره سازی مناسب آبی نبوده، ولی متناسب با پایداری آنها در مقابل هوازدگی و عدم پرشدگی سریع سیستم درزه‌ها، می‌توانند انتقال‌دهنده نسبتاً خوبی باشند. به همین دلیل، گزارش‌های دریافتی حکایت از این واقعیت دارد که در زمان حفاری، آب قابل توجهی در شیست‌ها مشاهده نشده است. ولی با گذر زمان و ساعتی پس از حفاری، چال‌های حفاری شده برای انجام عملیات آتشفکری در شیست‌ها، توسط آب و به صورت نشتی پر شده است. این پدیده مؤید این موضوع است که آب موجود در شیست‌ها، مرتبط با یک منبع فعال نبوده و به دلیل پائین بودن نفوذپذیری و ضریب

انتقال آب در آنها مشاهده می‌گردد که آب موجود مربوط به آب اشباع لایه‌ها بوده و به عنوان منابع ذخیره‌ای آب در شیست‌ها عمل نمی‌نماید. آب ناشی از بارندگی تماماً وارد معدن نشده و با توجه به توپوگرافی منطقه و دره‌های عمیق در پایین معدن، حدود یک دهم آن، ۳۰۰ مترمکعب وارد معدن زیرزمینی شده و برای انجام محاسبات آبکشی از معدن منظور می‌شود [۵۱].

۴-۲- زمین شناسی مهندسی مسیر تونل شماره یک

یکی از موضوعات مهم زمین شناسی، ترسیم و تعیین مرز دقیق واحدهای زمین شناسی است. با استفاده از نقشه زمین شناسی تهیه شده از تونل، واحدهای سنگی تشکیل دهنده منطقه مشخص شده و به جداسازی مرز دقیق واحدهای مختلف پرداخته شده است. در منطقه مورد مطالعه ۹۶۰ متر از طول تونل را آهک و ۲۳۰ متر از آن را شیست تشکیل داده است.

۴-۲-۱- مشخصات فنی طرح

معدن دارای دو تونل بازکننده اصلی در ترازهای تقریبی ۲۷۰۰+ برای باربری اصلی و تراز ۲۷۷۵+ متر برای حمل مصالح بتن و بازگشت هوا می‌باشد که به ترتیب تونل‌های شماره یک و دو نامیده شده است. مشخصات فنی تونل شماره یک سرب و روی انگوران در جدول ۲-۱ آورده شده است [۵۱].

جدول ۲-۱- مشخصات فنی تونل شماره یک سرب و روی انگوران [۱۵۰]

پارامتر	مقدار
تراز کف دهانه ورودی تونل	۲۷۰۰ متر از سطح دریا
قطر تونل	۴ متر
شیب کف تونل	۴/۱۰۰۰
طول تونل	۱۱۹۰ متر
نوع پوشش	قاب فلزی (در سنگ شیست و قسمت‌های ضعیف سنگ آهک)
حداکثر روباره تونل	۱۵۰ متر
عرض تونل	۴ متر
ارتفاع تونل	۲/۵ متر

۲-۴-۲- خصوصیات ژئومکانیکی مقطع

خصوصیات ژئومکانیکی مقطع مورد مطالعه در جدول ۲-۲ آورده شده است.

جدول ۲-۲- خصوصیات ژئومکانیکی تونل شماره یک معدن سرب و روی انگوران [۵۱]

مقدار		علامت	پارامتر
شیست	آهک		نوع سنگ
۲۰۰۰	۲۵۰۰	γ	وزن مخصوص (kg/m^3)
۲۸	۳۰	ϕ	زاویه اصطکاک (Degree)
۱۰۰	۱۵۰	C	چسبندگی (Kpa)
۳	۵	E	مدول الاستیسیته (Gpa)
۰/۳	۰/۲۵	θ	ضریب پواسون
۵۰	۷۰	UCS	مقاومت فشاری تک محوره (Mpa)
۵۱	۶۰	RQD	شاخص کیفیت سنگ (درصد)
۵۰	۴۲-۵۲	GSI	شاخص مقاومت زمین شناسی (درصد)
۵	۴	σ_t	مقاومت کششی (Mpa)
۹/۲۵	۶	Ψ	زاویه اتساع (Degree)

۲-۴-۳- پارامترهای سختی نرمال و برشی سطح ناپیوستگی‌های تونل یک

سختی برشی و عمودی ناپیوستگی‌ها از مهم‌ترین داده‌های ورودی برای مدل‌سازی عددی توده سنگ-های درزه دار است [53,54,55]. همچنین سختی عمودی ناپیوستگی نقش اساسی بر ارتباط با جریان سیال در ناپیوستگی‌ها دارد [53]. سختی برشی و عمودی ناپیوستگی‌ها برای سنگ آهک و شیست در جدول ۲-۵ آورده شده است.

جدول ۲-۳- پارامترهای سختی نرمال و برشی سطح ناپیوستگی‌های تونل یک [۵۶]

نوع سنگ	نوع تشکیلات	سختی نرمال K_n (Gpa)	سختی برشی K_s (Gpa)
شیست	دسته درزه‌ها	۷	۱/۴
	لایه بندی	۸/۳	۴/۴
آهک	دسته درزه‌ها	۲	۱۹
	لایه بندی	۲/۵	۱۹

۲-۵- جمع بندی

معدن سرب و روی انگوران در شمال غرب ایران و در زون ساختاری سنندج - سیرجان متعلق به کمربند کوهزایی زاگرس در ۱۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان زنجان واقع شده است. تونل مورد مطالعه دارای ۱۹۰ متر طول بوده که قسمت اعظم (۹۶۰ متر) آن را آهک و بخشی (۲۳۰ متر) از آن را شیست تشکیل داده است. محدوده معدن دارای زمستان‌های سرد و پر بارش بوده و مقدار بارش متوسط سالیانه ۴۹۶/۸ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به توپوگرافی منطقه کل آب ناشی از بارندگی وارد معدن نشده و حدود یک دهم آن، ۳۰۰ مترمکعب وارد معدن زیرزمینی شده و در محاسبات آبکشی منظور می‌شود.

فصل سوم

روش‌های تخمین میزان آب ورودی به تونل‌های سنگی

۳-۱- آشنایی

مسئله آبکشی در معادن تا آن حد اهمیت دارد که قبل از اختراع تلمبه، عملیات معدن کاری به سطح آب زیرزمینی محل محدود بود و همین که کارهای معدنی به این عمق می‌رسید، عملاً معدن کاری متوقف می‌شد و معدن دیگر قابل استفاده نبود. امروزه با وجود تلمبه‌های مختلف، می‌توان عملیات معدن کاری را تا اعماق زیاد انجام داد به گونه‌ای که عمق بعضی از معادن امروز بیش از ۳ هزار متر است. منشأ اصلی آب‌های داخل معدن آب‌های زیرزمینی است. بنابراین میزان آب موجود در داخل کارهای معدنی مستقیماً تابع میزان آب‌های زیرزمینی موجود در محل و نیز خصوصیات سنگ‌های ناحیه است. جریان‌های کوچک سطحی، هر چند به تنهایی اهمیتی زیادی ندارند ولی مجتمع آن‌ها ممکن است منابع بسیار عظیم آب را به وجود آورد. گرچه به طوری که گفته شد، منشأ اصلی آب‌های زیرزمینی آب‌های سطحی است ولی مقدار جزئی از آب زیرزمینی ممکن است از منابع دیگر تامین شود [۴۳].

۳-۲- پارامترهای موثر سنگ و مشخصات تونل در میزان جریان آب ورودی به آن

به طور کلی، پارامترهای موثر سنگ و مشخصات تونل در میزان جریان آب ورودی به تونل را می‌توان به صورت جدول ۳-۱ بیان کرد.

جدول ۳-۱- پارامترهای موثر سنگ و مشخصات تونل در میزان جریان آب ورودی به تونل

پارامتر	نحوه تاثیر	مأخذ
لزجت آب (μ)	تاثیر لزجت بر روی هدایت هیدرولیکی یک رابطه خطی است.	[۵۷]
نفوذ آب به زمین (I)	اگر نفوذ آب به زمین زیاد باشد باعث افزایش میزان آب مخزن می‌شود.	
متوسط فشار منفذی (P)	فشار در آب زیرزمینی ساکن با عمق به صورت خطی افزایش می‌یابد.	
هدایت هیدرولیکی (K)	افزایش هدایت هیدرولیکی باعث افزایش سرعت حرکت آب‌های زیرزمینی خواهد شد. هدایت هیدرولیکی سنگ یا خاک بستگی به خصوصیات ذاتی سنگ و خاک و سیال دارد.	[۴۳]
نفوذپذیری ذاتی محیط	نفوذپذیری ذاتی یک محیط متخلخل نشان دهنده توانایی انتقال سیال در سنگ یا خاک می‌باشد که تنها به محیط متخلخل بستگی دارد و مستقل از خصوصیات سیال می‌باشد.	
سطح مقطع عبور جریان (A)	شدت جریان آب عبوری با سطح مقطع عبور جریان متناسب است.	

ادامه جدول ۳-۱- پارامترهای موثر سنگ و مشخصات تونل در میزان جریان آب ورودی به تونل

	ارتفاع نظیر افت (h_1)	شدت جریان آب عبوری با ارتفاع نظیر افت متناسب است.
[۴۳]	شیب هیدرولیکی ($\frac{dh}{dl}$)	سرعت حرکت آب‌های زیرزمینی با شیب هیدرولیکی رابطه مستقیم دارد. حرکت آب‌های زیرزمینی بر اساس شیب هیدرولیکی بین دو نقطه است.
[58] , [59] , [۴۰]	بازشدگی ناپیوستگی (e) و تنش برشی (τ)	بازشدگی درزه یکی از پارامترهای کلیدی تعیین خصوصیات جریان در توده سنگ است [84]. با افزایش بازشدگی صفحات درزه، نرخ جریان ورودی به تونل افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه توزیع بازشدگی درزه، با تنش‌های برشی یا نرمال تغییر می‌کند؛ در نتیجه قابلیت انتقال درزه وابسته به شدت این تنش‌ها است. مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است قابلیت انتقال درزه در تنش‌های نرمال کاهش می‌یابد ولی در اثر تغییر شکل درزه‌ها در اثر تنش‌های نرمال، رفتار مسدود کننده از خود نشان می‌دهد. قبل از اینکه سطح درزه‌ها با هم تماس پیدا کند، تغییر شکل مسدود کننده قابل توجهی اتفاق می‌افتد [85]. تغییر شکل برشی در اثر لغزش بلوک بالایی درزه بدون هیچ گونه تغییری در سختی، در تنش کنترل شده نرمال به وجود می‌آید؛ در نتیجه اتساع برشی در طول لغزش بین ۲ سطح زبر که با هندسه درزه کنترل می‌شود، اتفاق می‌افتد و بازشدگی درزه افزایش می‌یابد. [۴۰]
[۴۰]	فاصله داری ناپیوستگی‌ها (SD)	با افزایش فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها مقدار نرخ جریان ورودی به تونل کاهش می‌یابد. با توجه به افزایش فاصله‌داری، ابعاد بلوک‌ها در واحد سطح بیشتر شده و چگالی درزه‌های اطراف تونل کم و تعداد درزه کمتری دیواره تونل را قطع می‌کند، در نتیجه نرخ جریان آب ورودی به تونل کاهش می‌یابد.
	جهت داری (od)	در حالتی که امتداد درزه‌ها، عمود بر دیواره تونل قرار می‌گیرد حداکثر جریان آب به داخل تونل هدایت می‌شود.
	پایایی	منظور از پایایی، طول اثر ناپیوستگی است که در یک رخنمون مشاهده می‌شود. پایایی در مقاومت برشی حاصل در صفحه ناپیوستگی و نفوذپذیری توده سنگ تاثیر اساسی دارد.
	تعداد سری درزه‌ها (J_n)	با توجه به افزایش تعداد سری درزه‌ها، ابعاد بلوک‌ها در واحد سطح کمتر شده و چگالی درزه‌های اطراف تونل بیشتر و تعداد درزه متقاطع بیشتری دیواره تونل را قطع می‌کند. در نتیجه نرخ جریان ورودی به تونل افزایش می‌یابد.
[۶۰]	فراوانی درزه در دسته درزه‌ها	با توجه به کاهش فاصله‌داری، ابعاد بلوک‌ها در واحد سطح کمتر شده و چگالی درزه‌های اطراف تونل زیاد و تعداد درزه بیشتری دیواره تونل را قطع می‌کند، در نتیجه نرخ جریان آب ورودی به تونل افزایش می‌یابد.
	پرکننده (f)	مواد اصلی پرکننده عبارت است از ماسه، سیلت، رس، برش، میلونیت، کوارتز و رگه‌های کلسیت. بسته به نوع ماده پرکننده میزان جریان عبوری متغیر خواهد بود.
	شعاع تونل (r)	با افزایش شعاع تونل میزان آب ورودی زیاد خواهد شد.
	کیفیت توده سنگ (Q)	افزایش Q نشان دهنده بهتر شدن کیفیت سنگ می‌باشد.
	شرایط آب زیرزمینی (R_w)	نشان دهنده وضعیت عمومی، کاملاً خشک یا تقریباً خشک یا مرطوب یا تراوش آب و یا جریان آب می‌باشد.

ادامه جدول ۳-۱- پارامترهای موثر سنگ و مشخصات تونل در میزان جریان آب ورودی به تونل

	نفوذپذیری توده سنگ	چون شبکه شکستگی‌ها کانال اصلی عبور جریان در توده سنگ است، نفوذپذیری در این مورد با عنایت به عواملی چون تعدد و تداوم شکستگی‌ها تعیین می‌شود.
	طول تونل (L)	با افزایش طول تونل، احتمال برخورد با ناپیوستگی‌ها و همچنین منابع آب افزایش یافته و در نتیجه میزان ورود آب زیاد می‌شود.
	زمان نصب نگهداری (t)	زمان آب بندی و نصب نگهداری یکی از پارامترهای مهم و تاثیر گذار می‌باشد.
[۶۱]	لایه‌های چین خورده	در لایه چین خورده با شیب متوسط تا زیاد، درزه‌ها مخصوصاً آنهایی که در امتداد محور تاق‌دیس‌ها و ناودیس‌ها وجود دارند تحت اثر تکتونیزم باز شده‌اند لذا آنها برای حرکت آب استفاده شده و این مسیرهای موجود اولیه با جریان ثابت و رو به افزایش آب عریض می‌شوند.
	صفحات لایه بندی	در مجموع باید فرض شود سطوح لایه بندی تنها به میزان کمی مستعد گسترش برای تشکیل مسیرهای آب می‌باشند و به هیچ طریقی المان مسیرهای ارجح هدایت آب نیستند.
	سطح کلیواژ	سطوح کلیواژ به طور مکرر ترکیب درزه شکاف‌ها را تحت کنترل قرار می‌دهد و سپس می‌تواند روی انتقال آب تاثیر گذار گردد. تشکیل صفحات کلیواژ و همچنین گسترش بعدی مسیرهای آب کمتر در عمق‌های بیشتر احتمال دارد که به وقوع بپیوندد.
	شیستوزیتی	صفحات شیستوزیتی دارای اهمیت زیادی برای روند هیدرولیک در سنگ‌های سخت تحت تاثیر قرار گرفته می‌باشند.
	گسل‌ها	تشکیل دهنده بیشترین انواع صفحات جدایی در توسعه مسیرهای آب می‌باشند. ولی با در نظر گرفتن جهت حرکت و خواص سنگ مورد نظر، موضوع مذکور همیشه صادق نیست و نواحی گسلی حتی می‌توانند به عنوان با تراوایی پایین تعریف شوند که تابع نحوه عملکرد حرکت تکتونیکی و رفتار سنگ است.
	ترکیب سنگ	برای توسعه مسیرهای آب فاکتور جدی بوده زیرا تعیین کننده انیزوتروپی توده سنگ است و لذا تاثیر اساسی در تشکیل درزه‌ها دارد.
	ساختار تکتونیکی	برای توسعه روندهای هیدرولیک دارای اهمیت است زیرا تاثیر زیادی در تشکیل صفحات جدایی اولیه در انواع سنگ‌های مختلف دارد.
	عمق	به دلیل اینکه معمولاً توسعه بازشدگی‌ها از سطح به طرف پایین صورت می‌گیرد و آن‌ها با افزایش عمق دارای بلوغ کمتری هستند بنابراین عمق دارای اهمیت می‌باشد.
	وضعیت توپوگرافی	میزان شیب دامنه‌ها روی این که چه میزان بارش به درون زمین نفوذ می‌کند تاثیر جدی دارد. تراوایی در سنگ امکان توسعه بیش تر ندارد اگر به دلیل وضعیت توپوگرافی و یا آب و هوایی آب نتواند به درون زمین نفوذ کند.
	نوع سنگ	رابطه نزدیکی بین نوع سنگ و تشکیل مسیرهای آب وجود دارد.
	زمان (t)	روند هیدرولیک با افزایش سن و تحت تاثیر فاکتورهای محلی (نوع سنگ، نوع سیستم درزه شکاف‌ها، توپوگرافی، عمق، آب و هوا و پوشش گیاهی) توسعه می‌یابد.
	حجم آب (V)	توسعه مسیرهای آب تنها تابع سختی سنگ نیست بلکه تابع حجم آب نیز هست.

۳-۳- روش‌های پیش‌بینی میزان جریان آب به درون تونل

۳-۳-۱- روش‌های تحلیلی

راه حل‌های تحلیلی برای پیش‌بینی جریان، راحت‌تر از مدل‌سازی عددی هستند، زیرا آن‌ها اجازه مطالعه سریع گزینه‌های طراحی و مشخصات سنگ را می‌دهند که اغلب در امکان‌سنجی و حتی در مرحله طراحی به طور کامل تعریف نشده‌اند. با این حال، راه حل‌های تحلیلی موجود شرایط کمی را پوشش داده و اغلب در فرضیات آن‌ها محدودیت وجود دارد. راه حل‌های تحلیلی موجود به طور عمده برای جریان‌های اولیه و جریان‌های طولانی مدت در شرایط ساده نظیر، همگن بودن (هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره‌سازی و قابلیت انتقال)، ایزوتروپ، آبخوان نامحدود، شرایط مرزی ثابت و ... کاربرد دارند. با توجه به این که در این تحقیق تخمین جریان حالت پایدار حائز اهمیت می‌باشد در ادامه به بررسی راه حل‌های موجود برای جریان پایدار پرداخته شده است [14].

روش‌های تحلیلی، ساده و سریع هستند ولی دقت کافی در برآورد دبی آب در توده سنگ‌های ناهمگن ندارند و لازمه استفاده از این روش‌ها اعمال فرضیات ساده‌کننده‌ای در ارتباط با هندسه تونل، شرایط مرزی و رفتار سنگ است و امکان لحاظ کردن پیچیدگی‌های موجود در محیط تراوش وجود ندارد [62]. روش‌های تحلیلی متعددی برای پیش‌بینی نرخ آب ورودی به درون تونل‌ها وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های گودمن (Goodman)، کالسراد (Karlsruud)، ال‌تانی (ElTani) و لی (Lei) اشاره نمود. روش‌های تحلیلی از قوانین حاکم بر جریان آب در اطراف چاه‌ها پیروی می‌کنند. از آنجا که تمامی این روش‌ها دارای مبانی تئوریک هستند، نتایج به دست آمده در این روش‌ها نزدیک به هم هستند [۳۹]. مجموعه‌ای از این نوع معادلات در جدول ۳-۲ آورده شده است [63].

جدول ۳-۲- معادلات تحلیلی تخمین جریان آب ورودی به تونل

مرجع	توضیحات	رابطه
Goodman 1965 [64]	این معادله دارای سه پیش فرض اساسی و اولیه ذیل است؛ جریان شعاعی، عدم تغییرات قابل توجه لایه بندی و اعمال صحیح نفوذپذیری معادل محیط.	$Q = \frac{2\pi kh}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right)}$
Lei 1999 [65]	در این رابطه روش گودمن با اعمال دقیق تر شرایط واقعی تصحیح شده است.	$Q = \frac{2\pi kh}{\ln\left(\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2 - 1}\right)}$
El Tani 1999 [66]	ال تانی با بررسی میزان دقت معادلات فوق، این رابطه را به عنوان یک رابطه بهینه معرفی نموده است.	$Q = \frac{2\pi kh \left(\frac{1 - 3\left(\frac{r}{2h}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{r}{2h}\right)^2\right] \ln\frac{2h}{r} - \left(\frac{r}{2h}\right)^2} \right)}$
Karlsruud 2001 [67]	این رابطه از ترکیب روابط گودمن و هیور به منظور کاهش خطا در مورد تونل های عمیق و کم عمق (زیر سطح ایستابی) بر اساس مشاهدات میدانی تدوین شده است.	$Q = \frac{2\pi kh}{\ln\left(\frac{2h}{r} - 1\right)}$
Lombardi 2002 [68]	در این رابطه روش کارلسرود با اعمال شرایط دقیق تر تصحیح شده است.	$Q = \frac{2\pi kh}{\ln\frac{2h}{r} \left(1 + 0.4\left(\frac{r}{h}\right)^2\right)}$

این معادلات در شرایط زیر معتبر نیستند [69]:

- جریان عبوری از تونل به صورت قائم باشد.
- لایه بندی در اطراف تونل بسیار متغیر باشد.
- نفوذپذیری توده سنگ اندازه گیری نشده باشد.

پارامترهای معادلات جدول ۳-۲ به شرح زیر می باشند [۷۰]:

h : فاصله مرکز تونل تا سطح ایستابی (m).

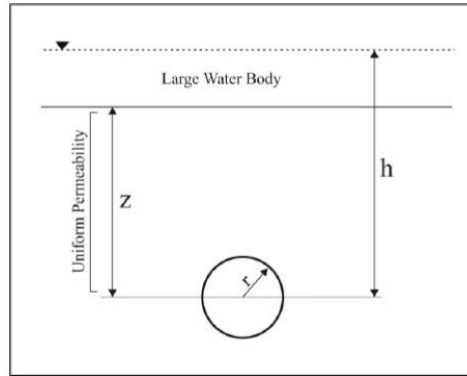
r : شعاع تونل (m).

K : ضریب نفوذپذیری معادل محیط سنگ در امتداد جریان نشت (m/s).

Q : میزان نفوذ آب در واحد طول تونل (m³/s/m).

شکل ۳-۱ نشان دهنده کلیاتی در ارتباط با پارامترهای معادلات تحلیلی حاکم بر جریان آب به درون

تونل می باشد [64].



شکل ۳-۱- وضعیت تونل در رابطه گودمن و همکاران.

لازم به ذکر است که محاسبه نشت به تونل در روش‌های تحلیلی با ساده سازی‌های بسیار زیادی انجام می‌گیرد و بنابراین دارای محدودیت‌هایی هستند. برای مثال این روابط برای شرایط دو بعدی و حالت پایدار جریان، تونل افقی و دایره‌ای، محیط ایزوتروپ و همگن، آبخوان نامحدود و محیط کاملاً اشباع برقرار هستند. اما زمانی که جریان عبوری از توده سنگ اطراف تونل به صورت قائم، لایه بندی متغیر و نفوذپذیری توده سنگ به طور دقیقی مشخص نباشد این معادلات ناکارآمد می‌باشند به همین خاطر در مسائل پیچیده هیدرولوژی چندان کاربردی ندارند [۷۱].

۳-۳-۲- روش‌های تجربی

برای تخمین جریان آب در حالت پایدار، معمولاً دو حالت جریان شعاعی و جریان قائم مورد توجه قرار می‌گیرد [۷۲].

در روش هیور جریان پایدار به درون تونل از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۷۳]:

$$q_s = F_s \cdot K \cdot H \quad (۱-۳)$$

H : ارتفاع آب در بالای تونل (m).

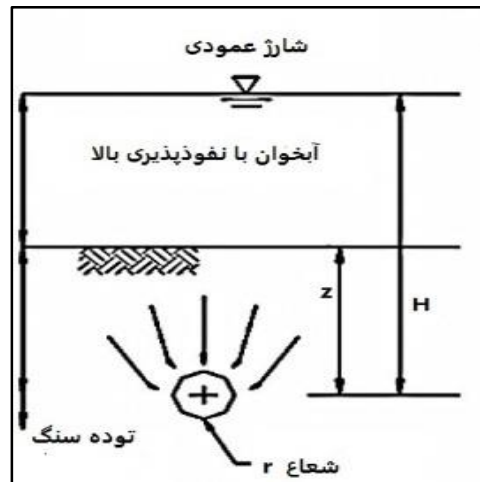
K : نفوذپذیری معادل توده سنگ (m/s).

F_s : تابعی که به شرایط مرزی بستگی دارد. در عمل شرایط مرزی به دو صورت جریان قائم (تونل‌های

کم عمق) و جریان شعاعی (تونل‌های عمیق) در نظر گرفته می‌شود.

الف - جریان قائم

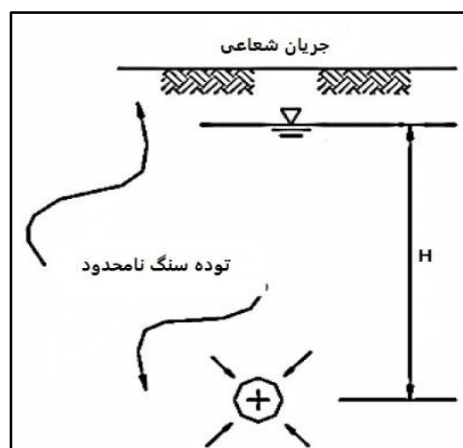
همان طور که در شکل ۳-۲ مشاهده می‌شود، زمانی صادق است که منبع تغذیه یا حجم زیادی از آب در یک تراز ثابت نزدیک به تونل باشد (به عنوان مثال هنگامی که تونل زیر یک دریاچه یا آبخوان بسیار تراوا قرار دارد) [۷۲].



شکل ۳-۲- جریان قائم در تونل‌های کم عمق [74].

ب - جریان شعاعی

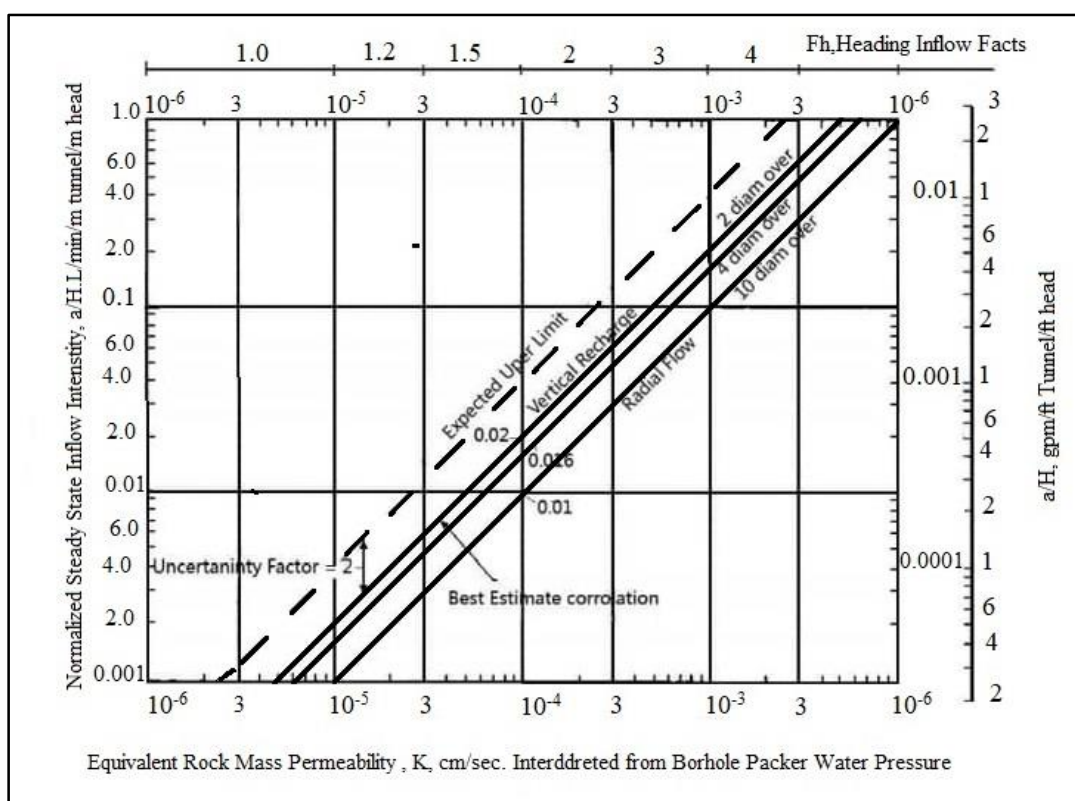
جریان آب به سمت تونل همانند جریان آب به سمت چاه‌های پمپاژ می‌باشد. این مدل در مورد تونل‌هایی که منبع تغذیه آن‌ها ضخامت زیادی دارد صادق است (مشاهده شکل ۳-۳) [۷۲].



شکل ۳-۳- جریان شعاعی در تونل‌های عمیق [۷۵].

در شکل ۳-۴ روش تعیین نسبت نرمال شده $\frac{q_s}{H}$ براساس مقادیر مختلف K و شرایط مرزی F_s (جریان شعاعی یا قائم به داخل تونل) ارائه شده است. پس از آن با ضرب مقدار H (ارتفاع ستون آب بر سر تراز

تونل) در نسبت $\frac{q_s}{H}$ میزان آب ورودی به تونل در حالت پایدار به دست می‌آید. لازم به ذکر است که این شکل براساس روابط تجربی جریان واقعی آب به سمت تونل با نتایج آزمایش‌های فشار آب انجام شده در گمانه‌های اکتشافی در پروژه‌های مختلف به دست آمده و مبنای تئوریک ندارد [۷۳].



شکل ۳-۴- رابطه تجربی میان متوسط جریان آب به داخل تونل در حالت پایدار [76].

تجربه نشان داده است جریان آب به سمت تونل در حالت پایدار بلند مدت معمولاً بسیار کمتر از مقداری است که با فرض نفوذپذیری معادل حاصل از تست‌های فشار آب و با استفاده از روابط تحلیلی محاسبه می‌شود. به نظر جریان واقعی آب به سمت تونل تقریباً یک هشتم مقادیر جریان آب محاسبه شده از روابط تحلیلی است [76].

۳-۳-۳- روش‌های عددی

راه حل‌های تحلیلی معمولاً بر اساس بسیاری از مفروضات، مانند همگن و ایزوتروپ بودن، پیکربندی سطح آب خطی و دامنه جریان خاص می‌باشند. بنابراین برای بسیاری از مسائل، فرضیاتی که برای حل

مسئله در نظر گرفته می‌شود واقعی نخواهد بود. در این موارد، باید به روش‌های تقریبی با استفاده از روش‌های عددی برای حل مدل ریاضی مراجعه شود. روش‌های عددی نیازی به فرض‌های محدود کننده ندارند. دقت راه‌حل‌های به دست آمده می‌تواند بسیار خوب (بویژه در برخی موارد) باشد، اما به عوامل متعددی بستگی دارد که عبارتند از: نوع روش عددی مورد استفاده، پیچیدگی شرایط اولیه و مرزی و دقت محاسباتی کامپیوتر مورد استفاده برای اجرای روش [14].

روش‌های عددی برخلاف روش‌های تحلیلی از سادگی محاسباتی برخوردار نیستند. همچنین به اطلاعات جامعی از محیط ساختگاه تونل نیاز دارند و از ساده‌سازی‌ها و فرضیات کمتری برخوردار هستند؛ در نتیجه روش‌های عددی بسیار پیچیده‌تر بوده و بکارگیری آنها نیز بسیار زمان‌بر است. اما نتایج دقیق‌تری را نسبت به روش‌های تحلیلی ارائه می‌نمایند. بدیهی است صحت محاسبات انجام شده توسط نرم افزار بستگی به صحت مقادیر پارامترهای ورودی دارد [59].

برای مدل‌سازی رفتار پیچیده هیدرولیکی توده سنگ ابتدا لازم است که پارامترها و عوامل موثر در رفتار هیدرولیکی توده سنگ بررسی شود. در بسیاری از ساختارهای زمین‌شناسی، نفوذپذیری سنگی در مقایسه با نفوذپذیری شکستگی‌های موجود در توده سنگ بسیار ناچیز است و شکستگی‌ها مسیر اصلی جریان سیال هستند. در این حالت رفتار هیدرولیکی توده سنگ به وسیله شکستگی‌ها کنترل می‌شود و برآورد آن نیازمند فهم مناسبی از رفتار هیدرولیکی شبکه شکستگی‌هاست. برای مدل‌سازی و بیان رفتار هیدرولیکی توده سنگ از دو روش پیوسته و ناپیوسته استفاده می‌شود. در روش پیوسته با استفاده از خواص معادل توده سنگ، یک مدل معادل از رفتار هیدرولیکی توده سنگ ارائه می‌شود. خواص معادل را می‌توان با آزمایش‌های برجا و اندازه‌گیری مستقیم به دست آورد، ولی این روش‌ها زمان‌بر، گران قیمت و با عدم قطعیت‌هایی در رابطه با توزیع نامنظم شکستگی‌ها در توده سنگ، شرایط مرزی و تفسیر نتایج همراه هستند. روش‌های غیر مستقیم برای تعیین خواص معادل، شامل روش‌های تحلیلی و روش‌های عددی است. روش‌های تحلیلی برای مدل‌سازی محیط، سابقه طولانی دارد و برای سیستم‌های ساده و مدل‌های هندسی ساده شکستگی ارائه شده است. مطالعات پژوهشگران مختلف نشان می‌دهد

که روش‌های پیوسته مرسوم نسبت به اعمال صحیح تاثیر هندسه شکستگی‌ها در رفتار جریان دارای محدودیت‌های زیادی هستند و فقط در حالتی معتبر هستند که توده حاوی تعداد شکستگی متقاطع باشد و فاصله‌داری شکستگی‌ها بسیار کوچک‌تر از ابعاد ناحیه آزمایش (برای آزمایش‌های برجا) و یا سازه زیرزمینی (برای بررسی جریان در اطراف سازه) باشد. در حقیقت تخلخل موثر هیدرولیکی تحت تاثیر ارتباط و تقاطع شکستگی‌های موجود در دامنه است و تقاطع بین شکستگی‌ها تابع پیچیده‌ای از فراوانی شکستگی (تعداد شکستگی در واحد سطح یا حجم)، اندازه (طول یا سطح) و جهت داری شکستگی‌های موجود در دامنه است در روش‌های ناپیوسته تلاش بر این است که عوارض موثر در رفتار هیدرولیکی توده سنگ به نوعی مدل‌سازی شوند. در این حالت با ایجاد یک مدل‌سازی هندسی از شکستگی‌ها که نشان دهنده مشخصات هندسی، تعداد و جمعیت شکستگی‌های موجود در محیط است، و اعمال قوانین جریان در شکستگی‌ها، رفتار هیدرولیکی توده سنگ مدل‌سازی می‌شود. یکی از روش‌های مدل‌سازی هندسی شکستگی‌های توده سنگ روش شبکه شکستگی مجزا (DFN) است. این روش برای مدل‌سازی توده سنگ دارای شکستگی و با کاربردهای متنوعی مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش از آنالیزهای آماری و توزیع احتمالاتی مشخصات هندسی شکستگی‌ها استفاده می‌شود. تصادفی بودن خواص شکستگی‌های موجود در توده سنگ، لزوم استفاده از آنالیزهای آماری را نشان می‌دهد. برای ساخت مدل شبکه شکستگی مجزا از روش‌های آماری و شیوه شبیه‌سازی مونت کارلو برای ایجاد شکستگی‌ها استفاده می‌شود [۷۷].

۳-۴- جمع بندی

در این بخش، پارامترهای موثر سنگ و مشخصات تونل در میزان جریان آب ورودی به تونل مورد بررسی قرار گرفته و سپس به مطالعه روابط تحلیلی، تجربی و روش‌های عددی موجود برای تخمین میزان آب ورودی به تونل پرداخته شد. بنابراین مباحث این فصل مطالب تئوری و مقدمه‌ای برای شروع فصل بعد می‌باشد. در فصل چهارم، به مباحث مربوط به آزمایش فشار آب، ساختارهای هدایت کننده آب به درون

تونل و مقایسه نتایج تخمین میزان آب ورودی به تونل با روابط تحلیلی و تجربی و همچنین هزینه‌های آبکشی پرداخته خواهد شد.

فصل چهارم

تخمین میزان آب ورودی به تونل ۱ معدن سرب و روی انگوران

و هزینه‌های احتمالی ناشی از آن

۴-۱- آشنایی

همان طور که در بخش قبل شرح داده شد، روش‌های متفاوتی برای تخمین میزان جریان آب به درون تونل‌های سنگی وجود دارد. در تحقیق حاضر با توجه به اینکه تونل حفر شده است، ساختارهای زمین‌شناسی هدایت‌کننده آب به درون تونل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و از دو روش تحلیلی و تجربی با استفاده از نتایج تست فشار آب، برای تخمین دبی آب ورودی به تونل استفاده خواهد شد. در این فصل ابتدا آزمایش‌های لوژان^۱ انجام شده در منطقه مورد بحث واقع شده و سپس میزان آب ورودی محاسبه شده با روش‌های تحلیلی و تجربی با مقدار واقعی مقایسه و در نهایت به مبحث هزینه‌های احتمالی ناشی از ورود آب به فضاها و زیرزمینی پرداخته خواهد شد.

۴-۲- تعیین نفوذپذیری توده سنگ با استفاده از آزمون‌های صحرایی

قابلیت عبور یک سیال از یک محیط متخلخل را نفوذپذیری می‌نامند. در این تعریف، منظور از سیال آب و منظور از محیط متخلخل زمین است [۷۸]. نفوذپذیری که دارای بُعد طول بر زمان است معمولاً با واحدهایی نظیر متر بر ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. نفوذپذیری توده‌های سنگی وابسته به میزان خردشدگی آن‌ها و نوع پرشدگی درزه‌ها در آنهاست. در مواردی توده‌های سنگی شدیداً درزه‌دار که درزه‌های آن‌ها با مصالح رسی و ریزدانه پر شده است معمولاً فاقد نفوذپذیری‌اند. در مقابل برخی از سنگ‌های سالم که فقط درزه‌هایی با فواصل چند متری داشته‌اند، به علت بازشدگی زیاد درزه‌ها و عدم وجود مصالح پرکننده در درزه‌های آنها، از نفوذپذیری بالایی برخوردارند.

برای تعیین ضریب نفوذپذیری روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی متنوعی وجود دارد. با این حال معمولاً روش‌های صحرایی نتایج واقع‌بینانه‌تری به دست می‌دهند. برای تعیین نفوذپذیری آزمایشگاهی توده سنگ نمی‌توان وضعیت هندسی درزه‌ها و شرایط پرشدگی آن‌ها را شبیه‌سازی کرد. بنابراین در عمل تنها راه اندازه‌گیری نفوذپذیری توده‌های سنگی آزمایش‌های صحرایی است.

¹ Lugeon

به طور کلی برای تعیین میزان نفوذپذیری زمین به شیوه صحرائی سه روش وجود دارد:

الف) تعیین نفوذپذیری توده‌های خاکی توسط آزمایش لوفران.

ب) تعیین نفوذپذیری خاک با آزمون‌های پمپاژ آب که در آن سطح آب چاه مورد آزمایش با پمپاژ پایین برده می‌شود.

ج) تعیین نفوذپذیری توده‌های سنگی درزه‌دار با آزمایش لوژان.

در ادامه مطالب این فصل، جزئیات تست لوژان به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

۴-۳- تعیین نفوذپذیری در توده‌های سنگی با آزمایش لوژان

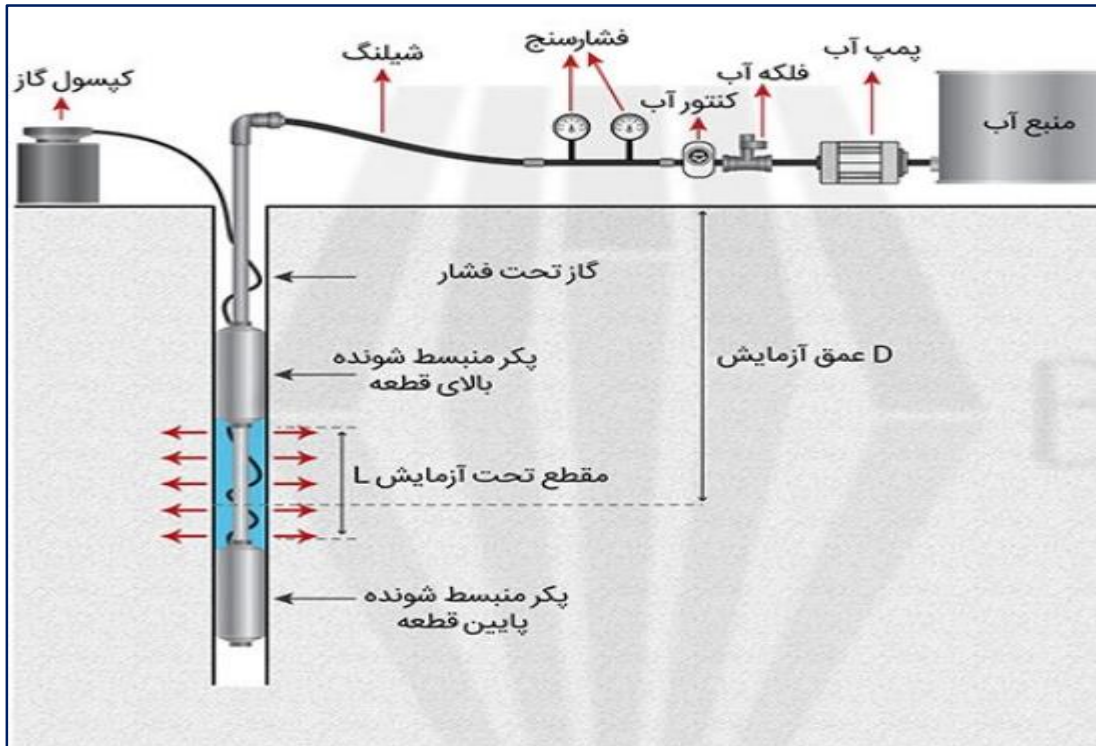
۴-۳-۱- تعریف

مرسوم‌ترین روش اندازه‌گیری نفوذپذیری توده‌های سنگی درزه‌دار در صحرا، شیوه ابداع شده توسط لوژان در سال ۱۹۳۳ میلادی است. در این روش که به نام لوژان موسوم است، ابتدا میزان آبخوری توده سنگ تحت یک فشار ثابت اندازه‌گیری می‌شود و سپس با تغییر فشار آب منحنی تغییرات خوردند در برابر فشار آب ترسیم می‌شود. از تفسیر این نمودار عدد لوژان به دست می‌آید.

عدد لوژان در واقع نماد غیر مستقیم نفوذپذیری توده سنگ است و طبق تعریف یک واحد لوژان معادل نفوذپذیری توده سنگی است که از یک متر طول گمانه حفاری شده در آن، تحت فشار ۱۰ بار، یک لیتر در دقیقه آب عبور کند. با توجه به این که تعیین نفوذپذیری زمین در این روش با سیستم آب تحت فشار انجام می‌شود این آزمون را به نام آزمایش فشار آب نیز می‌شناسند.

۴-۳-۲- روش و ابزارهای انجام آزمایش

آزمایش لوژان یک آزمون درون چاهی است و بنابراین لازم است برای انجام آن گمانه‌ای حفر شود. به همین دلیل این آزمون معمولاً در جریان حفاری گمانه‌های اکتشافی انجام می‌شود. نحوه انجام آزمایش لوژان در معدن سرب و روی انگوران در شکل ۴-۱ به صورت شماتیک نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱- نمایش شماتیک انجام آزمایش لوژان در معدن سرب و روی انگوران.

در معدن سرب و روی انگوران تعداد ۸ حلقه گمانه حفاری شده است. در گمانه‌های مذکور، تعداد ۱۲۶ آزمایش فشار آب (WPT) در مقاطعی به طول ۵ متر و با پله‌های فشار متفاوت برای اعماق کمتر و بیشتر از ۵۰ متر انجام شده و نمودارهای P-Q در هر مقطع مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین در مجموع تعداد ۱۲۶ مقطع مورد آزمایش فشار آب قرار گرفته و نوع جریان در آنها تعیین شده است. همچنین به منظور بررسی عوامل موثر در میزان نفوذپذیری و نوع جریان حاکم در هر مقطع یک بانک

اطلاعاتی شامل مشخصات گمانه، عمق موثر، فشار موثر آزمایش، مقادیر لوژان و مقادیر RQD تشکیل شده است. مشخصات گمانه‌های حفر شده برای انجام آزمایش لوژان در جدول ۴-۱ آورده شده است.

جدول ۴-۱- مشخصات کلی گمانه‌های آزمایش لوژان [۵۱]

ردیف	نام گمانه	قطر گمانه (mm)	عمق گمانه (m)	طول مقطع (m)	تعداد آزمایش لوژان
۱	MzP01	۹۶	۷۵	۵	۱۵
۲	MzP02	۹۶	۸۲	۵	۱۶
۳	MzP03	۹۶	۱۰۱/۶۰	۵	۲۰
۴	MzP04	۹۶	۸۵	۵	۱۷
۵	MzP05	۹۶	۵۱/۷۰	۵	۱۰
۶	MzP06	۹۶	۷۵	۵	۱۵
۷	MzP07	۹۶	۱۰۰	۵	۲۰
۸	MzP08	۹۶	۶۵/۲۰	۵	۱۳

۴-۳-۳- نتایج آزمایش لوژان

تجربه نشان داده است که در سنگ‌های ضعیف، در بیشتر موارد، فشارهای اعمال شده بیش از توان توده سنگ بوده و باعث شکست هیدرولیکی سنگ شده و به طور کاذب سبب افزایش جذب آب شده است. در نتیجه پیشنهاد این است که نتایج به هر دو صورت نموداری و عددی ارائه شود تا بتوان مناسب‌ترین واحد لوژان را انتخاب کرد. نمودار P-Q حتماً باید همراه نمودار گمانه باشد زیرا مقدار لوژان رابطه تنگاتنگی با ساختار و جنس توده سنگ دارد.

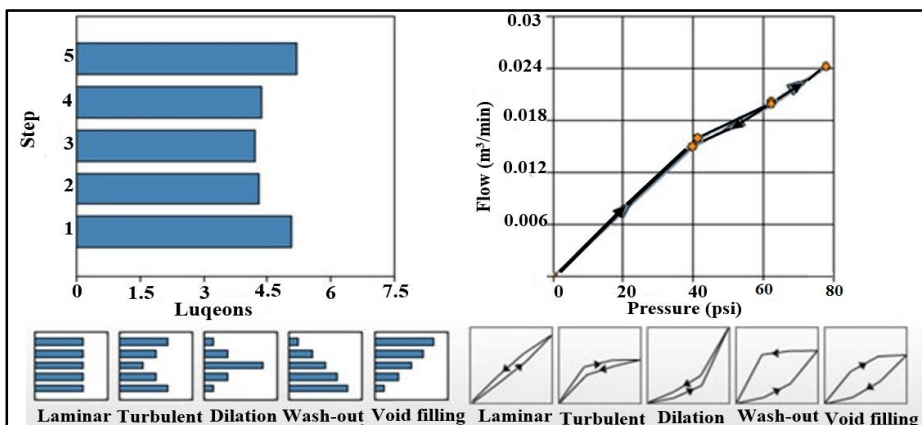
۴-۳-۳-۱- بررسی نفوذپذیری توده سنگ

در آزمایش لوژان در مقاطع مختلف گمانه‌ها، فشار آب به صورت پلکانی رفت و برگشتی افزایش داده شده و مقدار فشار (P) و مقادیر آبگذری (Q) ثبت شده در هر پله فشار به صورت منحنی (P-Q) ترسیم و رفتار جریان مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در منحنی‌های P-Q، حالت‌های مختلفی از منحنی تغییرات فشار آبگذری حاصل می‌شود که بر اساس تیپ‌های مختلف، جریان آب و رفتار سنگ در برابر

فشارهای اعمال شده تعیین می‌گردد. به طور کلی وضعیت جریان در سنگ‌های درزه‌دار در آزمایش لوژان به ۵ گروه جریان‌های خطی، آشفته، اتساعی، آب شستگی و پرکننده تقسیم شده است [۷۹]. رفتارهای نفوذناپذیر و شکست هیدرولیکی در ضمن آزمایش لوژان دو رفتار معمول و مورد انتظار هستند. اگر فشار نفوذ آب به حدی زیاد باشد که بر مقاومت توده سنگ غلبه نماید، می‌تواند منجر به گسیختگی توده سنگ شده و رفتار شکست هیدرولیکی ایجاد نماید. در مناطق کم عمق و هوازده مقدار فشار بحرانی تابع عمق مقطع آزمایش و فشار سربار می‌باشد اما با افزایش عمق و کاهش اثرات هوازده‌گی و بسته شدن درزه‌های باز سطحی، فشار بحرانی متأثر از مقاومت کششی ناپیوستگی‌ها، تراکم پذیری سنگ و ارتباط بین جهت گمانه با جهت ناپایدارترین ناپیوستگی در توده سنگ خواهد بود [80]. آزمایش فشار آب رایج‌ترین روش ارزیابی هیدرولیکی برای تعیین نفوذپذیری توده سنگ می‌باشد. فشار در طول آزمایش به صورت متغیر است تا رفتار تراوایی در حالت وابسته به فشار مطالعه گردد [81]. هر چند این آزمایش به طور مستقیم اطلاعاتی را در مورد ویژگی‌های درزه و ضریب تراوایی توده سنگ‌ها بیان نمی‌کند، ولی اطلاعاتی را در مورد پتانسیل جذب آب توسط توده سنگ‌ها بیان می‌کند و بیشتر به خصوصیات ژئومتری و درجه هوازده‌گی مسیرهای آب بستگی دارد [82,83]. رفتارهای جریان آب در سنگ در آزمایش لوژان به صورت جدول ۴-۲ و همچنین تصویر ۴-۲ آورده شده است.

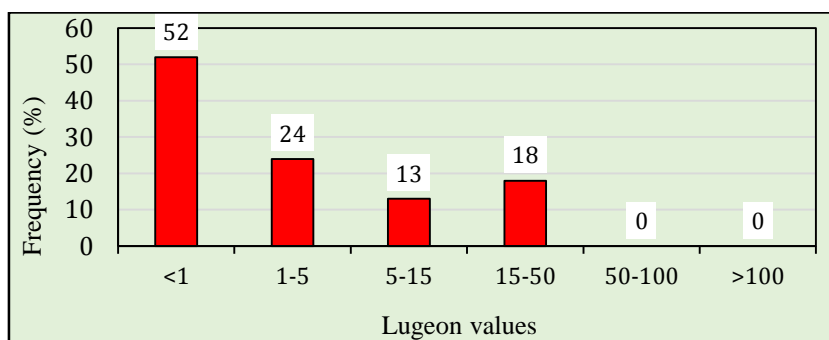
جدول ۴-۲- فراوانی رفتارهای جریان در آزمایش لوژان به تفکیک گمانه [۵۱]

MZ-P08	MZ-P07	MZ-P06	MZ-P05	MZ-P04	MZ-P03	MZ-P02	MZ-P01	رفتار تست
3	0	0	4	1	0	2	3	آرام / خطی
1	5	1	0	4	1	2	1	اتساعی
2	1	1	2	2	8	2	5	مغشوش
1	1	5	0	0	5	2	2	آب شستگی
0	0	1	2	0	0	1	1	پرشده‌گی درزه‌ها
4	11	5	0	8	1	6	0	نفوذناپذیر



شکل ۴-۲- روش میله‌ای و منحنی‌های P-Q جهت تفسیر نتایج آزمایش لوژان [۵۱].

در شکل ۳-۴ و همچنین جدول ۳-۴ نتایج آزمایش‌های فشار آب و مقادیر نفوذپذیری هر گمانه بر حسب عمق نشان داده شده است.

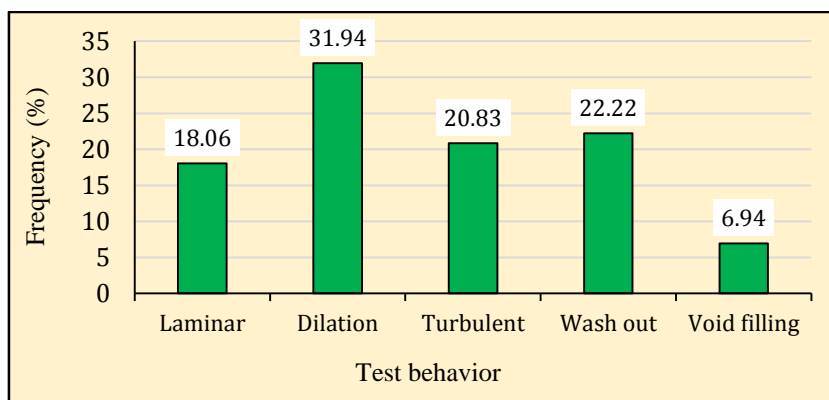


شکل ۳-۴- نتایج آزمایش‌های فشار آب در مقاطع ۵ متری.

جدول ۳-۴- مقادیر نفوذپذیری (لوژان) هر گمانه بر حسب عمق [۵۱]

MZ-P08	MZ-P07	MZ-P06	MZ-P05	MZ-P04	MZ-P03	MZ-P02	MZ-P01	Depth
						6		5-10
0	31	40	24	1		0	1	10-15
1	15	22	25	5		0	1	15-20
1	4	9	24	8		0	1	20-25
5	1	3	17	5	2	0	34	25-30
7	0	15	1	0	1	0	40	30-35
23	0	14	1	0	1	34	20	35-40
1	0	0	5	0	2	24	19	40-45
0	1	0	2	2	2	3	16	45-50
0	0	0		0	1	16	2	50-55
0	2	0		15	5	1	1	55-60
1	0	0		0	9	3	1	60-65
	0	0		0	1	0	2	65-70
	1	1		0	1	1		70-75
	0			0	8	14		75-80
	0			0	1			80-85
	0				11			85-90
	0				2			90-95
	0				0			95-100

به منظور ارزیابی وضعیت رفتار هیدرولیکی توده سنگ، اقدام به تفسیر نمودارهای فشار - جریان به دست آمده از آزمایش‌های لوژان شده است. در شکل ۴-۴ نحوه توزیع رفتار هیدرولیکی مقاطع آزمایش نمایش داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، رفتار اتساعی یا حالت انبساط درزه‌ها با فراوانی ۳۱/۹۴ درصد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. بنابراین جریان اتساعی، رفتار هیدرولیکی غالب توده سنگ بوده که به نوعی نشانگر رفتار شکست هیدرولیکی می‌باشد. در واقع فشار اعمال شده به هنگام انجام آزمون فشار آب، فشار بحرانی بوده و باعث باز شدن شکستگی‌های موجود در توده سنگ شده و در نتیجه نفوذپذیری به شدت افزایش یافته است. رفتار پرشدگی با فراوانی ۶/۹۴ درصد دارای کمترین مقدار می‌باشد. رفتار پر شدگی درزه‌ها بیانگر این است که هر چه از شروع آزمایش گذشته، عدد لوژان کاهش یافته است. به نظر می‌آید که درزه‌های توده سنگی به مرور زمان پر شده و عبور جریان را مشکل ساخته‌اند. این حالت به نام پر شدن درزه‌ها مشهور است و در آن عدد لوژان نهایی معادل عدد لوژان پله آخر فشار که کم‌ترین عدد فشار است انتخاب شده است. با این حال توصیه می‌شود که به منظور اطمینان از حصول شرایط مذکور آزمایش در موارد مشابه، آزمایش در زمان طولانی‌تری انجام شود. همچنین دومین رفتار غالب در منطقه مورد مطالعه، آب شستگی با فراوانی ۲۲/۲۲ درصد می‌باشد. در این حالت با افزایش فشار، عدد لوژان افزایش یافته و پس از کاهش فشار عدد لوژان همچنان روند صعودی داشته و کاهش نیافته است. به نظر می‌آید که در این حالت مواد پرکننده درزه‌های توده سنگ در اثر فشار آب شسته شده و نفوذپذیری آنها افزایش یافته است. چون در اثر آزمایش نفوذپذیری توده سنگ افزایش یافته، در عمل نیز با اعمال اولین فشارها به توده سنگ مصالح پرکننده درزه‌ها شسته شده و نفوذپذیری محیط افزایش می‌یابد. بر همین اساس عدد لوژان مربوط به آخرین پله فشار که بیشترین عدد لوژان نیز می‌باشد، به عنوان عدد لوژان نهایی مقطع انتخاب شده است.



شکل ۴-۴- رفتار نگاری جریان آب در توده سنگ در تست لوژان و درصد فراوانی مربوط به آنها [۵۱].

با توجه به طبقه بندی نفوذپذیری متناسب با مقادیر لوژان در جدول ۴-۴ و همچنین وضعیت ناپیوستگی توده سنگ مرتبط با مقادیر مختلف لوژان (مشاهده جدول ۴-۵)، در ادامه به بررسی و تحلیل نفوذپذیری منطقه مورد مطالعه بر اساس آزمایش‌های لوژان پرداخته شده است.

جدول ۴-۴- طبقه بندی نفوذپذیری بر اساس مقدار لوژان توده سنگ [84]

مقدار لوژان	طبقه بندی نفوذپذیری
$Lu < 1$	نفوذناپذیر
1-5	نفوذپذیری پایین
5-25	نفوذپذیر
$Lu > 25$	نفوذپذیری بالا

جدول ۴-۵- وضعیت ناپیوستگی توده سنگ در ارتباط با مقادیر مختلف لوژان [85]

Lugeon Range	Classification	Hydraulic Conductivity Range (cm/s)	Condition of Rock Mass Discontinuities
$L < 1$	Very Low	$< 1 \times 10^{-5}$	Very Tight
1-5	Low	$1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-5}$	Tight
5-15	Moderate	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$	Few partly open
15-50	Medium	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$	Some open
50-100	High	$6 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	Many open
$Lu > 100$	Very High	$> 1 \times 10^{-3}$	Open closely spaced or voids

همان طور که در جدول ۴-۶ مشاهده می‌شود، در مقطعی از منطقه مورد مطالعه که آزمایش لوژان انجام شده، ۴۸/۶ درصد از آنها لوژان کمتر از ۱ واحد داشته و لوژان بین ۱-۵ واحد نیز حدود ۲۲/۴

درصد می‌باشد. بنابراین لوژان کمتر از ۵ واحد در کل ۷۱ درصد از مقاطع را در بر می‌گیرد. مقاطعی که لوژان بیش از ۲۵ واحد داشته باشند فقط در ۵ مقطع مشاهده شده که در مجموع ۴/۶۷ درصد از مقاطع می‌باشد که در آنها آزمایش لوژان انجام شده است. بنابراین آزمایش‌های لوژان انجام شده، عدم نفوذپذیری یا نفوذپذیری پایین این واحد سنگی را نشان می‌دهد. البته قابل ذکر است که در چندین منطقه عدد لوژان بالایی به دست آمده است که به دلیل برخورد به شکستگی‌ها و یا نواحی گسلی نفوذپذیری افزایش یافته است. عدم نفوذپذیری یا نفوذپذیری پایین می‌تواند به دلیل میزان بازشدگی صفر اکثر درزه‌های سنگ، پرشدگی درزه‌ها با رس در بخش آهکی و همچنین نفوذپذیری ناچیز قسمت شیستی باشد؛ به طور کلی، در مورد سایت مورد مطالعه می‌توان اشاره نمود که آب دریافتی آهک‌ها محدود به میزان بارش بر روی آنها بوده و به دلیل وجود گسل و شکستگی‌های زیاد، آب دریافتی سریعاً به لایه‌های پائینی انتقال می‌یابد. لایه‌های زیر آهک‌ها عمدتاً تشکیلات شیستی بوده که به شیست‌های با درجات مختلف متامورفیکی و هوازدگی‌های متفاوت محدود می‌گردند. شیست‌ها معمولاً دارای سطوح جداشدگی زیادی در جهت شیستوزیته و خرد شدگی‌ها می‌باشند. خلل و فرج شیست‌ها به دلیل بافت نرم و شدیداً مستعد هوازدگی، سریعاً توسط مواد هوازده پر شده و از رطوبت نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشند. شیست‌ها معمولاً دارای توان ذخیره سازی مناسب آبی نبوده ولی متناسب با پایداری آنها در مقابل هوازدگی و عدم پرشدگی سریع سیستم درزه‌ها، می‌توانند انتقال دهنده نسبتاً خوبی باشند. با توجه به پیشرفت هوازدگی در شیست‌های منطقه، به نظر می‌رسد بیشتر جدا شدگی‌ها در شیست‌ها توسط مواد دانه‌ریز ناشی از هوازدگی، پر شده و شیست‌ها شرایط مناسبی را برای ذخیره و انتقال آب‌های زیرزمینی ندارند. به همین دلیل، گزارش‌های دریافتی حاکی از این واقعیت است که در زمان حفاری، آب قابل توجهی در شیست‌ها مشاهده نشده است. ولی با گذر زمان و ساعتی پس از حفاری، حفره‌های حفاری شده جهت انجام عملیات آتشفباری در شیست‌ها، توسط آب به صورت نشتی، پر شده است. این پدیده مؤید این موضوع است که آب موجود در شیست‌ها مرتبط با یک منبع فعال نبوده و به دلیل پائین بودن نفوذپذیری و ضریب انتقال آب در آنها، آب مشاهده شده فقط

آب مصروف اشباع لایه‌ها بوده و به عنوان منابع ذخیره‌ای آب در شیست‌ها عمل نمی‌نماید. با توجه به وضعیت ناپیوستگی‌های تونل یک، این نتیجه دور از انتظار نمی‌باشد.

به طور کلی با استفاده از نتایج آزمایش‌های صحرایی لوژان و نیز انجام بازدیدهای صحرایی لازم، سازندهای منطقه از نظر ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی به دو دسته تقسیم‌بندی شده‌اند:

الف- این واحدهای سنگی عمدتاً از آهک دولومیتی تشکیل شده و از گسترش بالایی برخوردار است. منطقه مورد نظر به علت عملکرد نیروهای تکتونیکی دارای گسل‌ها و شکستگی‌های فراوانی بوده و از جهتی سنگ به شدت کارستی است. در سنگ‌های آهکی بیشتر درزه‌های بدون بازشدگی هستند و در آزمایش مذکور مقاطعی که عدد لوژان بالایی نشان داده است ناشی از وجود گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌باشند که باعث هدایت آب و افزایش نفوذپذیری می‌شوند.

ب- این واحد سنگی از شیست تشکیل شده است. این سنگ‌های فاقد آبدهی یا دارای آبدهی ناچیز هستند. علی‌رغم خاصیت سنگ شیست در عبور آب، به دلیل هوازدگی و خردشدگی شدید این نوع سنگ، نفوذپذیری افزایش یافته است.

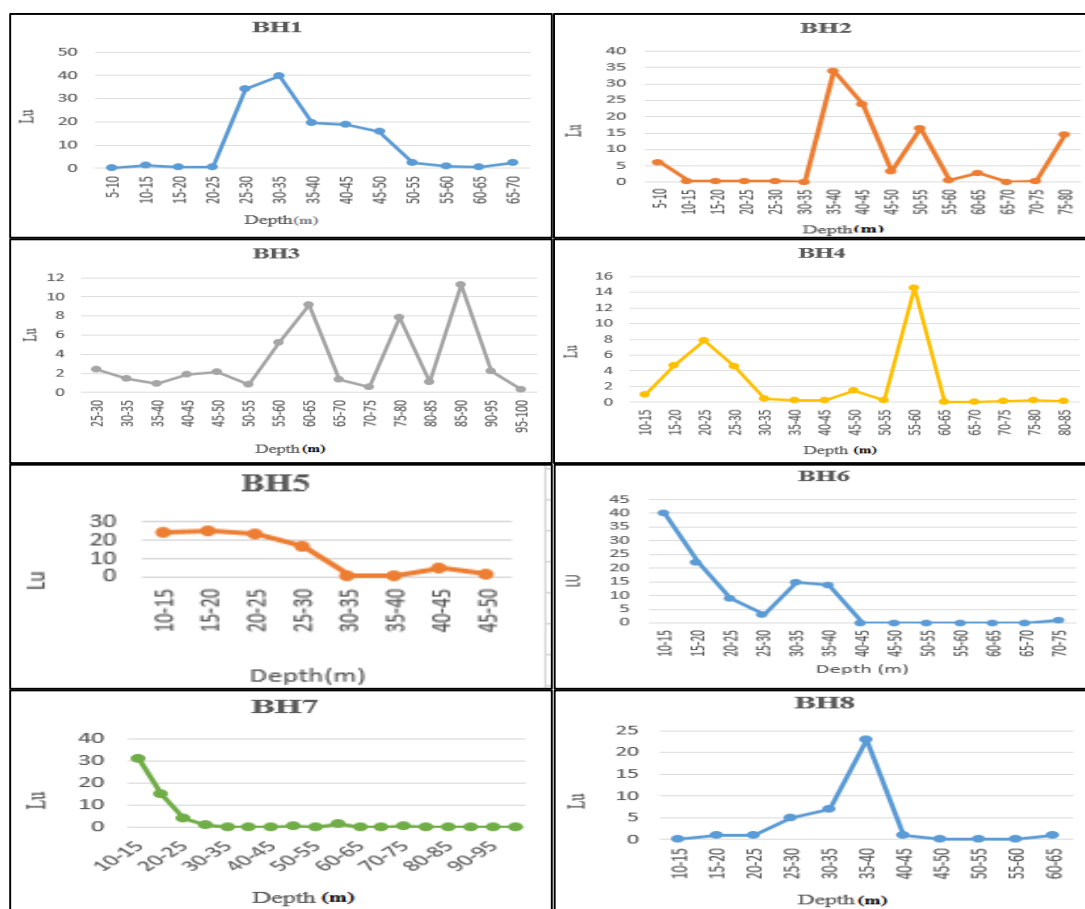
جدول ۴-۶- ارتباط بین مقدار لوژان، دبی جریان و وضعیت ناپیوستگی توده سنگ

Frequency %	Frequency	Classification	Lugeon range	Condition of rock mass discontinuity
48.6	52	Very Low	<1	Very Tight
22.4	24	Low	1-5	Tight
12.1	13	Moderate	5-15	Few partly open
16.8	18	Medium	15-50	Some open
0	0	High	50-100	Many open
0	0	Very High	>100	Open closely spaced or voids

۴-۳-۲- بررسی وضعیت نفوذپذیری نسبت به عمق

شکل ۴-۵ توزیع نفوذپذیری و عمق منطقه مورد مطالعه را با بکارگیری آزمایش لوژان نشان می‌دهد. همان طور که از شکل پیداست در اکثر گمانه‌ها مقدار جریان آب نفوذی ابتدا در حد صفر است، ولی

در اعماق پایین تر به دلیل رسیدن به زون کارستی و برخورد با حفره‌های کارستی یا شکستگی و گسل نفوذپذیری به طور ناگهانی افزایش می‌یابد و پس از آن دوباره به شدت کاهش می‌یابد. نتیجه این آزمایش‌ها نشان می‌دهد با افزایش عمق، عرض شکستگی‌های افقی تحت تاثیر بار ناشی از وزن طبقات بالایی کاهش یافته در نتیجه ضریب نفوذپذیری با افزایش عمق کاهش می‌یابد که به صورت شماتیک در شکل ۴-۶ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۵- توزیع نفوذپذیری با تغییر عمق با به کارگیری آزمایش لوژان.

ضریب همبستگی شاخصی است ریاضی که جهت و مقدار رابطه بین دو متغیر را توصیف می‌کند. ضریب همبستگی در مورد توزیع‌های دو یا چند متغیره به کار می‌رود. اگر مقادیر دو متغیر شبیه هم تغییر کند یعنی با کم یا زیاد شدن یکی دیگری هم کم یا زیاد شود به گونه‌ای که بتوان رابطه آنها را به صورت یک معادله بیان کرد، بین دو متغیر همبستگی وجود خواهد داشت. برای سنجش همبستگی ضرایب گوناگونی به کار می‌رود که یکی از مهم‌ترین آنها ضریب همبستگی ساده پیرسون می‌باشد. ضریب همبستگی بین مقادیر لوژان و RQD با استفاده از توابع نرم افزار Excel محاسبه شد که عدد مربوطه ۰/۷۵- به دست آمد. عدد منفی بیانگر همبستگی معکوس و عدد محاسبه شده حاکی از همبستگی بالا (نزدیک عدد ۱) بین مقادیر لوژان و شاخص کیفی توده سنگ می‌باشد.

۴-۳-۵- رابطه بین عدد لوژان و ضریب نفوذپذیری سنگ

آزمایش فشار آب برای ارزیابی صورت می‌پذیرد، با این حال، نتیجه این آزمایش عدد لوژان است که رابطه دقیقی بین این عدد و ضریب نفوذپذیری (K) وجود ندارد. در واقع عدد لوژان برای ارزیابی نسبی نفوذپذیری توده‌های درزه‌دار سنگی کارایی دارد و برخی از منابع تاکید کرده‌اند که تبدیل عدد لوژان به ضریب نفوذپذیری از مفهوم دقیقی برخوردار نیست. با این وجود، در شرایطی که سنگ درزه‌های منظمی داشته باشد می‌توان تا حدودی رابطه (K) و (Lu) را پذیرفت.

دفتر عمران ایالات متحده^۲ در (1963) Earth Manual بر مبنای نتایج آزمایش لوژان روابط زیر را برای محاسبه K پیشنهاد کرده است: [۸۶]

$$K = \frac{Q}{2\pi l P_e} \log\left(\frac{L}{r}\right) \quad , L \geq 10r \quad (1-4)$$

$$K = \frac{Q}{2\pi l P_e} \sinh^{-1}\left(\frac{L}{2r}\right) \quad , 10r > L > r \quad (2-4)$$

که در آن:

K: ضریب نفوذپذیری توده سنگ (cm/s).

Q: دبی ورودی با نرخ ثابت به درون گمانه (cm³/s).

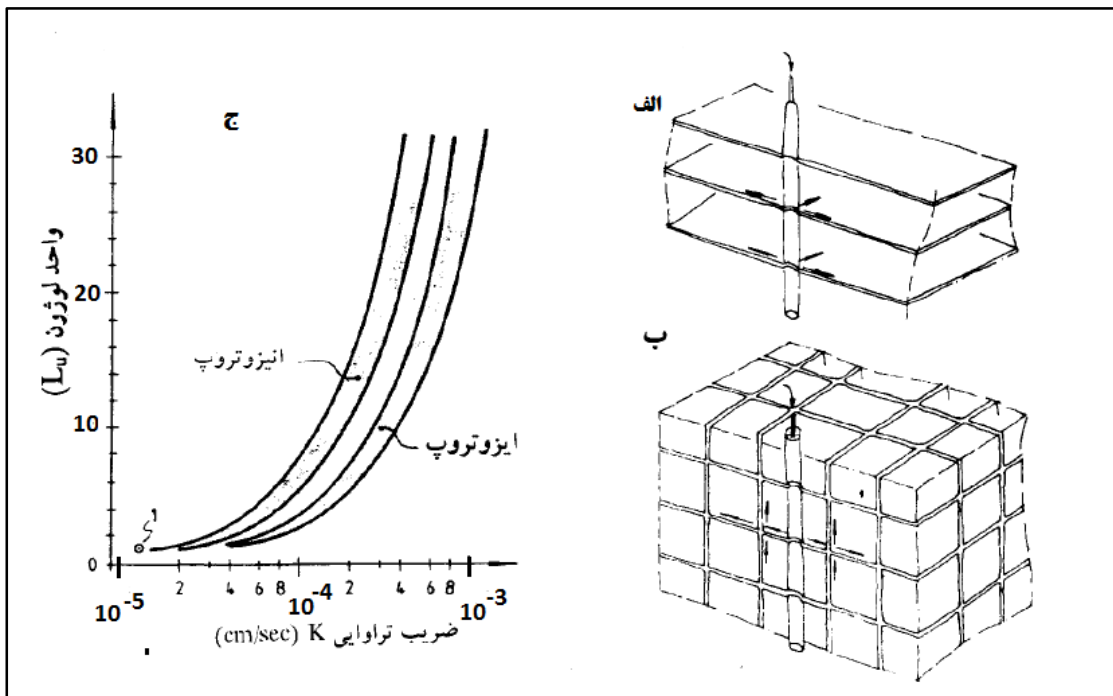
² USBR

L : طول قسمت مورد آزمایش از گمانه (cm).

R : شعاع گمانه در قطعه مورد آزمایش (cm).

P_e : فشار موثر آب روی قطعه مورد مطالعه (atm).

همچنین رابطه بین مقادیر لوژان و ضریب تراوایی (K) برای محیط درزه‌دار در شکل ۴-۸ نشان داده شده است.



شکل ۴-۸- الف) مدل با تراوایی شدیداً انیزوتروپ، ب) مدل با تراوایی ایزوتروپ، ج) رابطه بین لوژان Lu و K [۸۷].

در شرایطی که گسترش درزه‌ها در یک محدوده سنگی در حد قابل قبولی یکنواخت باشد، می‌توان در گستره‌ای وسیع، پارامتر K را تحت عنوان نفوذپذیری متوسط محدوده تعیین نمود. اما با توجه به حوزه کم‌وسعتی که در هر آزمون لوژان مورد بررسی قرار می‌گیرد (یعنی فضای چند متری مقطع) و همچنین شرایط مجهول حاکم بر محیط (میزان بازشدگی، زبری و سایر پارامترهای تاثیر گذار بر شرایط هیدرولیکی هر درزه، تعداد درزه‌ها و حدود شعاع تاثیر جریان) تعیین پارامتر k در محیط توده سنگ و بر اساس تست لوژان به سادگی امکان پذیر نیست. شاید تعدد روابط ارائه شده در این باره را بتوان دلیلی

بر تأیید این مسأله دانست [۱۸۶]. با این وجود در این بخش، روابط تجربی ارائه شده توسط محققین به

منظور تخمین نفوذپذیری متوسط در مقاطع معرفی می‌گردند. در این روابط:

K : نفوذپذیری (cm/s).

N : عدد لوژان ($L/min/m$).

L : طول مقطع (m).

r : شعاع گمانه (m).

R : شعاع تاثیر جریان آب (m).

K_u : نفوذپذیری با توجه به شعاع تاثیر جریان آب و شعاع گمانه (cm/s).

e : عدد نپر ۲/۷۱۸۳.

جدول ۴-۷- روابط تجربی اندازه‌گیری نفوذپذیری معادل سنگ [۱۸۸]

نام رابطه	رابطه
هورسلو ^۳	$K = 5.9918 \times 10^{-8} \times N \text{ Log } \{ (L/2r) + ((1 + (L/2r)^2)^{0.5}) \}$
برگرفته از دایره احیای اراضی ایالات متحده ^۴	$K = 5.9918 \times 10^{-8} \times N \text{ Log } \{ (L/2r) + ((1 + (L^2/4r^2))^{0.5}) \}$, if $1 \leq L/r \leq 10$ $K = 5.9918 \times 10^{-8} \times N \text{ log } (L/r)$, if $L/r \geq 10$
گیلج و گاوارد ^۵	$K = 8.175 \times 10^{-8} \times N \{ \text{Log } (R/r) / 0.4343 + r/L \text{ Log } (R/r) \}$
مویه ^۶	$K = 5.9918 \times 10^{-8} \times N \times \text{log}(eL/2r)$
بلونی و موریس ^۷	$K = 8.175 \times 10^{-5} \times N/C$ $C = 8.2814 \times r \{ \{ 1/4r^2 \} - (1/r^2) \}^{0.5} / (\text{log}(L/2r + ((L^2/4r^2) - 1)^{0.5})) \}$
بارتون و کوادروس ^۸	$K = 1 \times 10^{-7} \times N$
فرانسون ^۹	$K = 1.635 \times 10^{-7} \times N$
کربلا ^{۱۰}	$K_u = 5.9918 \times 10^{-8} \times N$
	$K_u = K/u$
	$u = \text{log } (R/r)$

³ Hvorslev

⁴ U.S.Bureau of Reclamation

⁵ Gilg & Gavard

⁶ Moyer

⁷ Belloni & Morris

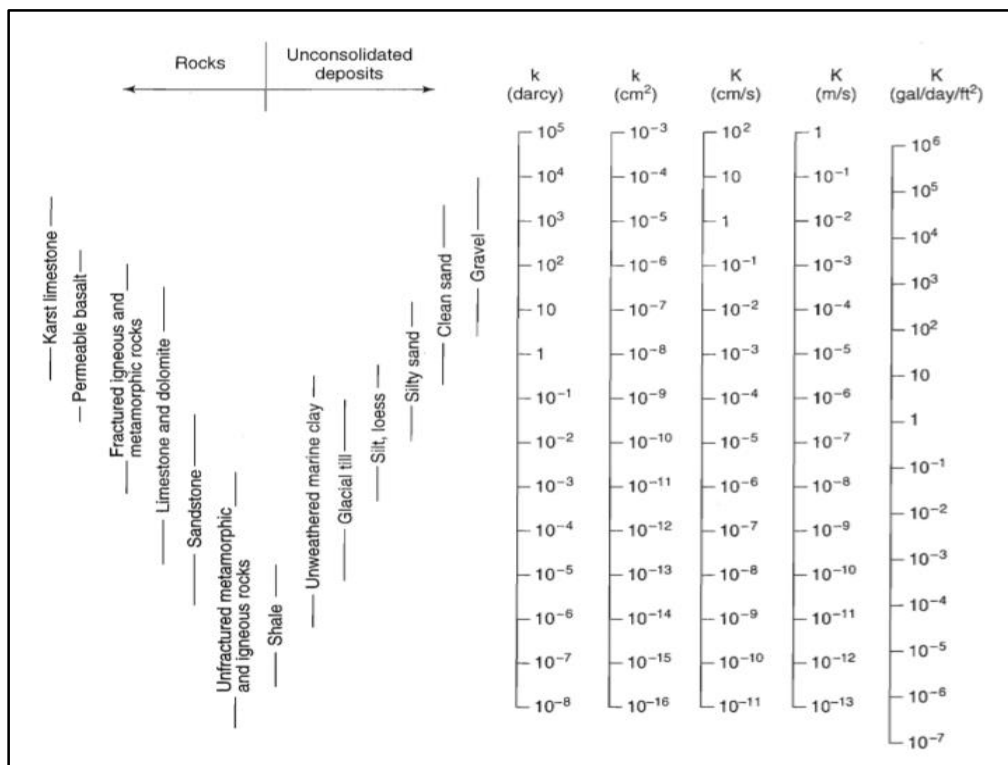
⁸ Barton & Quadros

⁹ Fransson

¹⁰ Karbala

رابطه بارتون و کوادروس در سال ۲۰۰۳ میلادی ارائه شده است و به این نکته اشاره می‌کند که در تعیین نفوذپذیری یک مقطع، عدد لوژان نقش کلیدی را دارد و سایر پارامترها مانند شعاع گمانه و یا شعاع نفوذ جریان، بی تاثیر هستند. تفاوت عمده‌ای که رابطه ارائه شده توسط کربلا در سال ۲۰۰۷ با سایر روابط دارد، این است که پارامتر K_{II} در آن دخیل است و در سایر روابط این پارامتر وجود ندارد و از آنجایی که مقدار شعاع تاثیر در دسترس نیست، بهتر است رابطه مربوط به آن و نفوذپذیری ادغام شود [۸۸].

برای تعیین نفوذپذیری توده سنگ از الگوی شکل ۴-۹ و همچنین از جدول ۴-۸ می‌توان استفاده کرد [۸۹].



شکل ۴-۹- بازه مقادیر هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری [۸۹].

جدول ۴-۸- مقدار مبنای هدایت هیدرولیکی سنگ‌ها [۸۹]

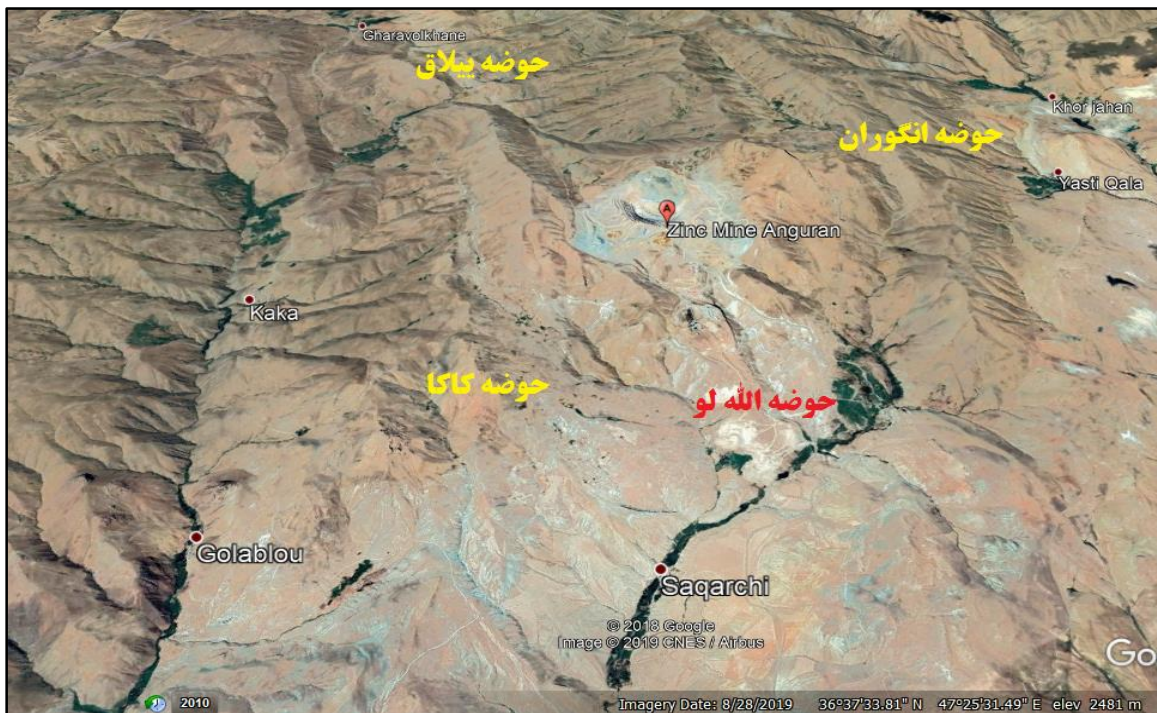
سنگ	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)
آهک	۰/۹۴
شیست	۰/۲

۴-۳-۴- تعیین سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

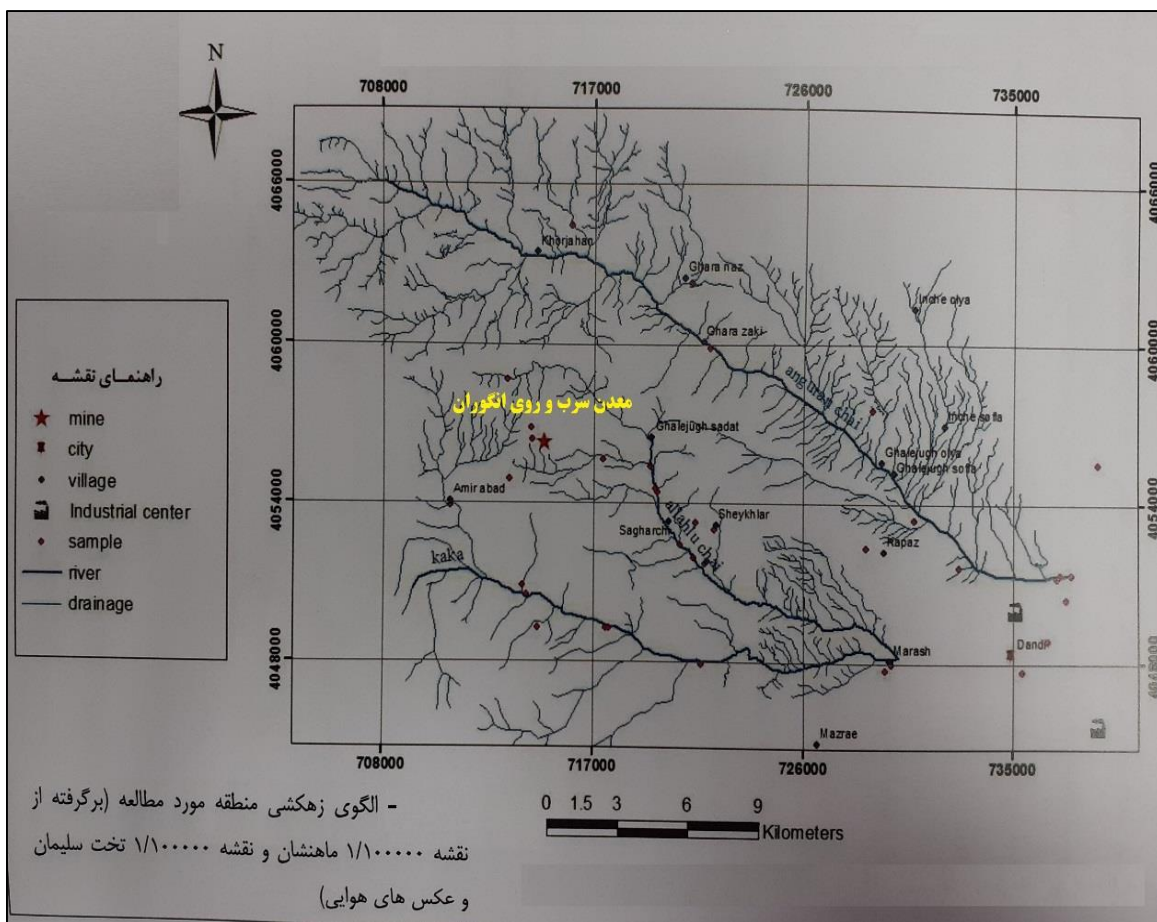
سطح ایستابی به بالاترین تراز آب زیرزمینی بر روی یک سطح مشخص در زیر زمین گفته می‌شود. هرگاه در منطقه‌ای آب زیرزمینی جریان نداشته باشد، سطح ایستابی بدون شیب و اصطلاحاً تخت می‌باشد، بنابراین می‌توان گفت اگر در منطقه‌ای سطح ایستابی شیبدار باشد، در آن منطقه آب زیرزمینی جریان دارد. سطح ایستابی معمولاً به همان شکل توپوگرافی سطح زمین می‌باشد. به طور معمول شیب سطح ایستابی از مناطق با شیب بیشتر در سطح زمین به سمت مناطق پست‌تر می‌باشد. حوضه‌های آبریز منطقه مورد مطالعه در حالت بلوغ بوده و چهار حوضه آبریز محدوده به شرح زیر می‌باشد:

حوضه آبریز ییلاق بلقیس مشرف بر آبراهه‌های بالا دست معدن، حوضه کاکا رود مشرف بر سمت چپ معدن، حوضه رودخانه الله لو مشرف به خروجی آب‌های زهکشی شده از معدن و حوضه انگوران چای مشرف بر سمت راست معدن (مشاهده شکل ۴-۱۰). منابع تغذیه حوضه ییلاق در ارتفاعات شمالی معدن انگوران می‌باشد که در نهایت به حوضه الله لو می‌ریزد و جهت جریان در این دو حوضه شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد. الگوی زهکشی منطقه مورد مطالعه در شکل ۴-۱۱ نمایش داده شده است.

به دلیل موقعیت و شرایط خاص جغرافیایی و کوهستانی، اغلب رودخانه‌های این منطقه تحت تأثیر عوامل طبیعی کم آب و سیلابی می‌باشند. این رودها به دلیل ذوب شدن برف‌ها در فصل بهار پر آب و در بقیه سال خشک و کم آب هستند. مهم‌ترین رودخانه‌های موجود در منطقه عبارتند از: سفید رود (قزل اوزن)، زنجان رود، ابهر رود، ایجرود، سجاس رود، خرارود و بزینه رود که رودخانه قزل اوزن مهم‌ترین این رودخانه‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است که تونل شماره یک معدن سرب و روی انگوران در تراز تقریبی ۲۷۰۰+ حفاری شده است.

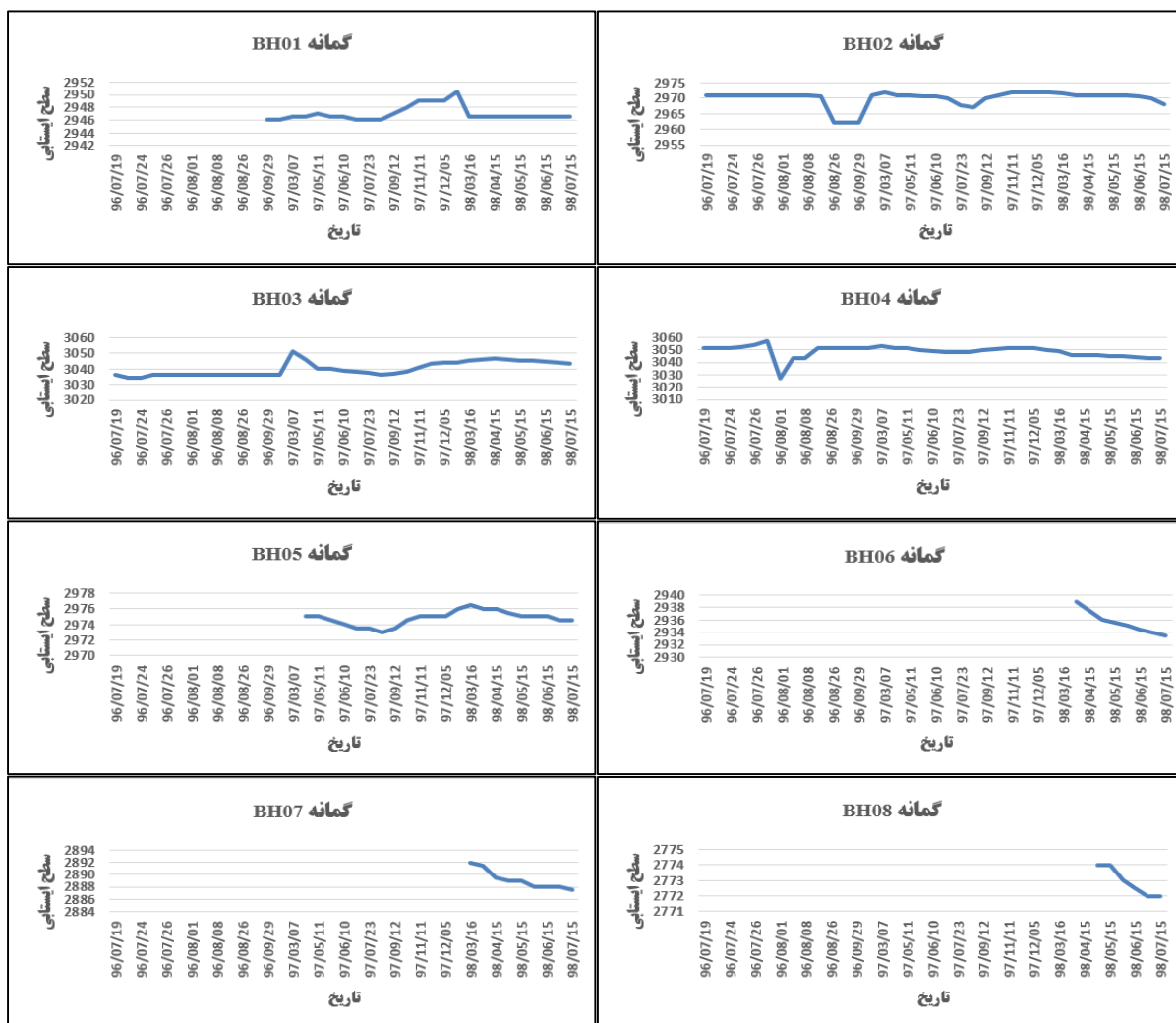


شکل ۴-۱۰- حوضه‌های زهکشی مشرف بر معدن سرب و روی انگوران در نرم افزار Google Earth.

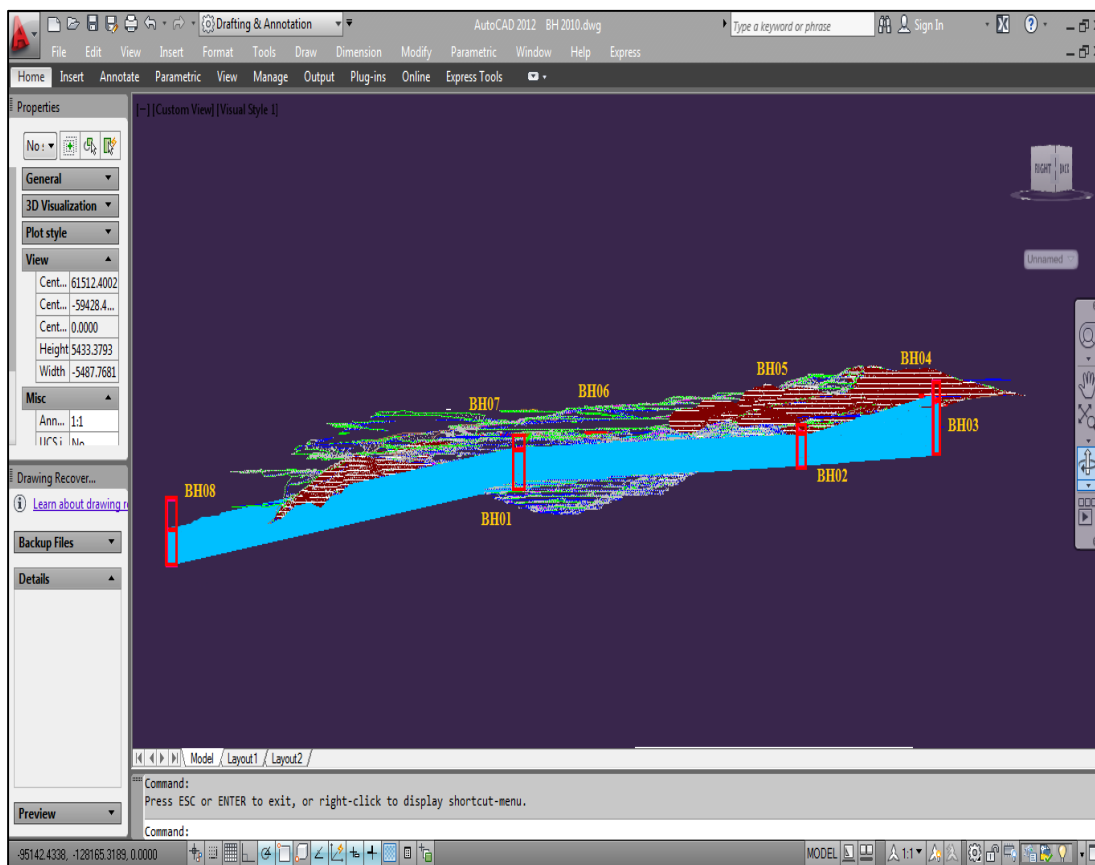


شکل ۴-۱۱- الگوی زهکشی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ ماهشان، نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ تخت سلیمان و عکس‌های هوایی) [۵۱].

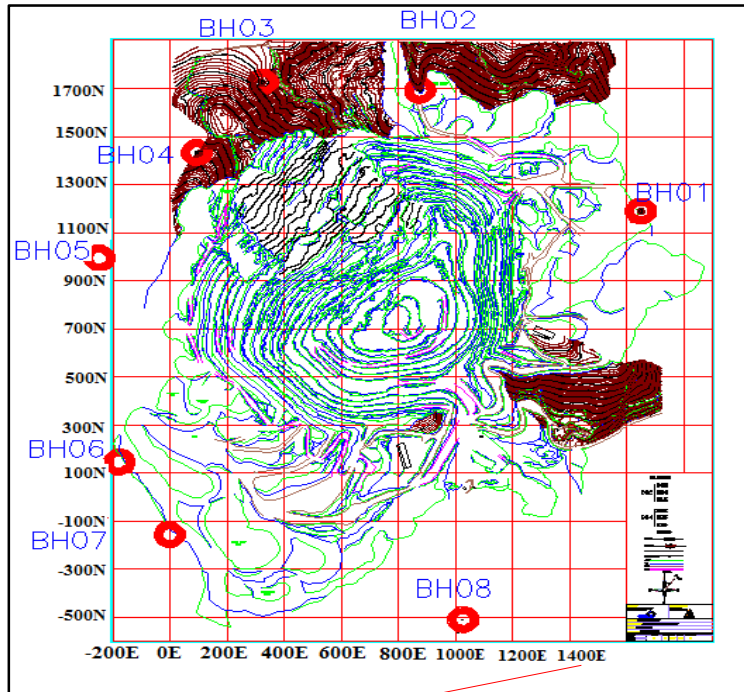
به منظور بررسی تغییرات سطح ایستابی در منطقه مورد نظر تعداد ۸ حلقه گمانه پیزومتری حفاری شده است که سطح ایستابی در هر گمانه نسبت به ارتفاع دهانه آن به صورت ماهانه اندازه گیری می شود. وضعیت سطح ایستابی آب زیرزمینی (بر حسب متر) محدوده مطالعاتی معدن انگوران از تاریخ ۹۶/۰۷/۱۹ تا ۹۸/۰۷/۱۵ در هیدروگرافهای موجود در شکل ۴-۱۲ آورده شده است. همچنین موقعیت گمانه های پیزومتری و تراز آب زیرزمینی در نرم افزار AutoCAD در تصاویر ۴-۱۳ و ۴-۱۴ نمایش داده شده اند.



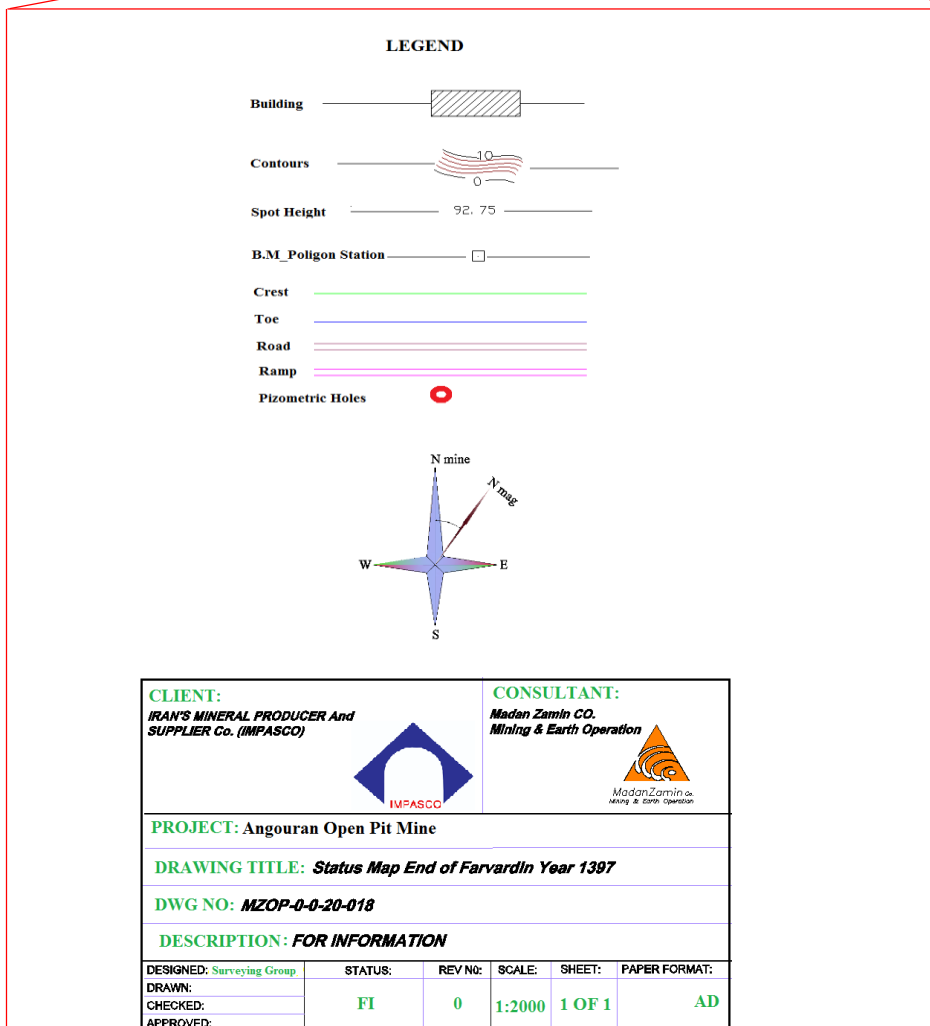
شکل ۴-۱۲- وضعیت سطح ایستابی در گمانه های پیزومتری معدن سرب و روی انگوران از مهرماه ۹۶ تا مهرماه ۹۸.



شکل ۴-۱۳- موقعیت گمانه‌های پیزومتری و تراز آب زیرزمینی در نرم افزار *AutoCAD*.



شکل ۴-۱۴- نمایش شماتیک گمانه‌های پیزومتری در نرم افزار AutoCAD [۵۱].



۴-۴- نتایج مطالعات صحرایی روند هیدرولیک در سنگ

در انتخاب روش باز کردن معدن به وضعیت توپوگرافی و ساختار زمین شناسی منطقه، مشخصات ذخیره قابل استخراج و سنگ‌های در برگیرنده آن، گسترش و عمق ذخیره و همچنین عواملی نظیر سطح فناوری، توان تخصصی نیروی کار، توان سرمایه‌گذاری، فوریت زمانی و ... توجه شده است. حد پایینی معدن زیرزمینی در تراز +۲۷۰۰ متر و حد بالایی آن در تراز +۲۷۵۰ متر می‌باشد. دو راه دسترسی اصلی برای معدن حفاری شده است. یکی از آنها در تراز ۲۷۰۰ متر برای باربری اصلی در نظر گرفته شده و دیگری در تراز ۲۷۷۵ متر برای حمل مصالح بتن و بازگشت هوا ایجاد شده است. به این ترتیب معدن دارای دو تونل بازکننده اصلی در ترازهای تقریبی +۲۷۰۰ و +۲۷۷۵ متر می‌باشد که به ترتیب تونل‌های شماره یک و دو نامیده شده‌اند.

مسیر تونل شماره یک به گونه‌ای است که قسمت عمده آن در سنگ‌های نسبتاً مستحکم آهکی قرار گرفته است.

به منظور بحث درباره جریان آب در سنگ تعریف و مشخص کردن انواع صفحات جدایی لازم است. نظر به اینکه در بخش‌های قبلی مطالبی درباره مسیرهای آب گفته شد، در اینجا یک ارائه سیستماتیک و کامل از همه انواع صفحات جدایی ممکن نیست زیرا حتی یک خلاصه، همه فضای در دسترس را اشغال می‌کند.

عملاً همه انواع صفحات جدایی می‌تواند به عنوان مسیرهای بالقوه آب منظور گردد به طور مثال:

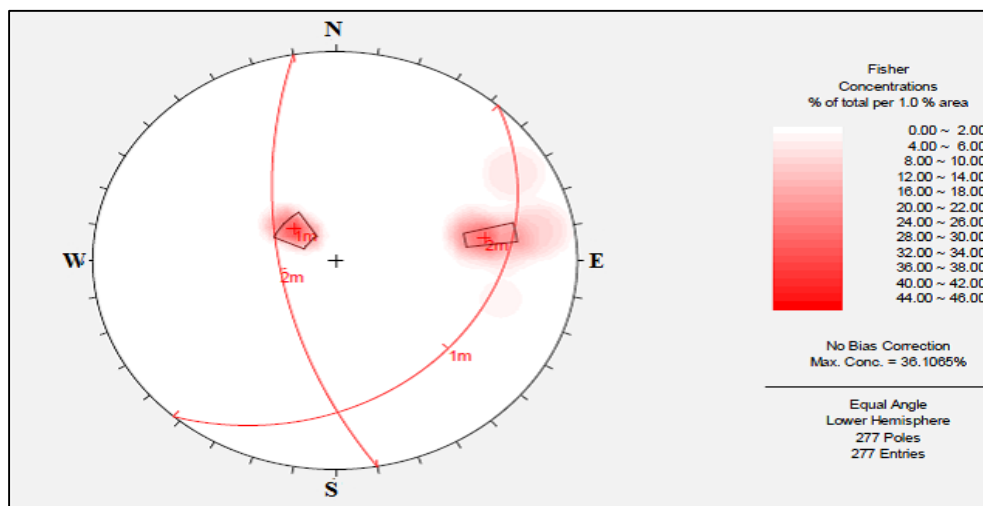
- صفحات لایه بندی

- صفحات درزه‌ها

- نواحی گسل‌ها

برداشت‌های انجام شده از ناپیوستگی‌ها در تونل یک به صورت نمودار در نرم افزار Dips ترسیم و در

شکل ۴-۱۵ آورده شده است. در این نمودارها صفحات اصلی ناپیوستگی ترسیم شده است.



شکل ۴-۱۵- تمرکز شیب و جهت شیب درزه‌های تونل یک بر روی شبکه استریوننت [۵۱].

تونل به استثناء چند مقطع از نواحی گسلی بدون نگهداری بوده و به دلیل کیفیت خوب توده سنگ با وجود نوار نقاله و نبود فضای کافی در تونل امکان مشاهده و بررسی روند هیدرولیک در سنگ با کیفیت مناسبی میسر شد.

وضعیت زمین شناسی برداشت شده از تونل شماره یک در جدول ۴-۹ ارائه شده است. لازم به ذکر است که جنس سنگ‌های تونل در طول مترهاژهای ذکر شده از نوع آهک کریستالین با درجه دگرگونی بسیار ضعیف و سنگ شیبست می‌باشد. در این آهک‌ها دو دسته درزه اصلی وجود دارد. دسته درزه اول که در جدول با عدد ۱* نشان داده شده به موازات لایه بندی بوده و با شیب ۲۵ تا ۳۵ درجه در جهت امتداد تونل می‌باشند، و دسته درزه دوم که با عدد ۲* در مورد آنها صحبت شده است با زاویه تقریباً ۴۵ درجه امتداد تونل و دسته درزه اول را قطع می‌کنند. (مطالب جدول ۴-۹ به صورت برداشت مشترک بوده و تهیه تصاویر، بررسی میزان آبدهی و ارائه برخی از توضیحات در زمان تحقیق انجام شده است).

همان طور که در جدول ۴-۹ مشاهده می‌شود، با توجه به اینکه لایه‌های آهکی با ضخامت حداقل ۵۰ سانتی‌متر وجود داشته و امتداد لایه‌ها در جهت تقریباً عمود بر امتداد تونل می‌باشد، اکثر نقاط تونل یک دارای مقاومت بسیار خوب از نظر تحکیم و نگهداری می‌باشد.

جدول ۴-۹- وضعیت زمین شناسی برداشت شده از تونل شماره یک [۵۱]

موضوع	نایبوستگی‌ها				موضوع	مترائز تونل	
	آبدهی	بازشدگی درزه‌ها (cm)	فاصله درزه‌ها از هم (cm)	تعداد دسته درزه			
		خشک	صفر	۳۰ - ۵ = ۱ ۲۰ - ۵ = ۲	۲	سقف- دیواره	۰-۴۳/۲
		مرطوب	صفر	۳۰ - ۵ = ۱ ۲۰ - ۵ = ۲	۲	دیواره‌ها	۴۳/۲-۵۷/۵
		خشک	صفر	۳۰ - ۵ = ۱ ۲۰ - ۵ = ۲	۲	سقف- دیواره	۵۷/۵-۶۸
		خشک	صفر	۳۰ - ۵ = ۱ ۲۰ - ۵ = ۲	۲	سقف- دیواره	۶۸-۱۰۰
		خشک	صفر	۳۰ - ۵ = ۱ ۲۰ - ۵ = ۲	۲	سقف - دیواره	۱۰۰-۱۳۰
		مرطوب	صفر	۳۰ - ۵ = ۱ ۲۰ - ۵ = ۲	۲	سقف - دیواره	۱۳۰-۱۵۰
-	-	مرطوب	تقریباً ۲/۰	۳۰ - ۵ = ۱ ۲۰ - ۵ = ۲	۲	سقف - دیواره	۱۵۰-۱۷۳
-	-	مرطوب	-	۳۰ - ۵ = ۱	۱	سقف - دیواره	۱۷۳-۲۰۰
		مرطوب	-	حالت توده‌ای	۲	سقف - دیواره	۲۰۰-۲۰۴/۸
		مرطوب	مرطوب	۱- حالت توده‌ای ۲- ۲۰-۵-۲۰	۲	دیوارها و سقف	۲۰۴/۸-۲۰۷/۷
		مرطوب	-	۱- حالت توده‌ای ۲- ۲۰-۵-۲۰	۲	سقف-دیواره	۲۰۷/۷-۲۱۹/۵
		مرطوب	صفر	۱-۱۰-۵۰ ۲- ۲۰-۵-۲۰	۲	دیواره‌ها	۲۱۹/۵-۲۲۷/۵

ادامه جدول ۴-۹- وضعیت زمین شناسی برداشت شده از تونل شماره یک

موضوع	نایبوستگی‌ها				موقعیت	تعداد دسته درزه	فاصله درزه‌ها از هم (cm)	بازشدگی درزه‌ها (cm)	آبدهی	توضیحات
	متر از تونل									
۲۵۰-۲۶۱	سقف-دیواره	۲	۱=۳۰-۵۰	صفر	مرطوب	در متر از ۲۶۱ یک شکستگی عمود بر امتداد تونل با بازشدگی حدود ۱۵ سانتی‌متر در دیواره سمت راست وجود دارد که تا بخش‌هایی از سقف نیز کشیده شده و بخشی از آن با گل پر شده و بخشی نیز شسته شده. در متر از ۲۵۸ نیز یک شکستگی عمود بر امتداد تونل که هم در سقف و هم در دیواره‌ها وجود دارد که بخشی از آن شسته و بخشی نیز با گل پر شده است. در متر از ۲۵۲ نیز یک شکستگی عمود بر امتداد تونل که هم در سقف و هم در دیواره‌ها با بازشدگی حدود ۲۰ سانتی‌متری وجود دارد که بخشی از آن شسته و بخشی نیز با گل پر شده است.				
۲۶۱-۲۸۰/۴	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰	صفر	مرطوب	-	-	-	-	
۲۸۰/۴-۲۹۱/۷	دیواره‌ها	۲	۱=۱۰-۵۰	صفر	مرطوب	هر دو دسته در دیواره‌ها قابل تشخیص است ولی سقف حالت حفره‌ای دارد (نگهداری فلزی).	-	-	-	
۲۹۱/۷-۳۰۰	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰	صفر	خیس	تعدادی از درزه‌ها که به موازات تونل می‌باشند بخصوص در متر از حدود ۲۹۴ به وسیله گل به ضخامت حدود ۲ تا ۳ سانتی‌متر پر شده‌اند.		-	-	
۳۰۰-۳۰۸	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰	صفر	مرطوب	در متر از حدود ۳۰۳ یک شکستگی که عمود بر امتداد تونل است در دیواره سمت چپ قرار دارد که حدود ۲۰ سانتی‌متر بازشدگی دارد و این شکاف تا بخش‌هایی از سقف نیز کشیده شده است.	-	-	-	
۳۰۸-۳۱۸	دیواره‌ها	۲	۱=۱۰-۵۰	صفر	مرطوب	هر دو دسته درزه در دیواره‌ها قابل تشخیص است ولی سقف حالت حفره‌ای دارد (نصب نگهداری فلزی).	-	-	-	
۳۱۸-۳۵۰	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰	صفر	مرطوب	در این متر از بعضی از شکستگی‌ها به وسیله کلسیت و در مواردی نیز توسط گل پر شده‌اند و بعضی از سطوح درزه‌ها دچار هوازدگی شده‌اند.	-	-	-	
۳۵۰-۳۸۵	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰	صفر	قطره‌ای	وجود حفره در متر از ۳۵۰ در سقف با بازشدگی ۸۰ سانتی‌متر.			-	-
۳۸۵-۴۱۶/۵	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰	صفر	جریان کم	وجود گسل در متر از ۴۱۰ متری با بازشدگی ۵ تا ۲۵ سانتی‌متر.			-	-
۴۱۶/۵-۴۲۰/۵	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰	صفر	مرطوب	در طول این متر از دو شکستگی وجود دارد که یکی به موازات تونل بوده و تنها در سقف دچار باز شدگی شده و فاصله بین آن با گل ولای های کلسیت سیاه رنگ پر شده و دیگری که عمود بر امتداد تونل است در سقف به وسیله گل پر شده ولی در دیواره‌ها شکسته شده است.	-	-	-	
۴۲۰/۵-۴۲۱	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰	صفر	مرطوب	-	-	-	-	

ادامه جدول ۴-۹- وضعیت زمین شناسی برداشت شده از تونل شماره یک

موضوع	نایبوستگی‌ها				موضوعیت	تعداد دسته درزه	فاصله درزه‌ها از هم (cm)	بازشدگی درزه‌ها (cm)	آبدهی	توضیحات
	متر از تونل									
۴۲۱-۴۲۶	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	مرطوب	-				
۴۲۶-۴۵۰	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	مرطوب	-				
۴۵۰-۴۵۹	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	خشک	-				
۴۵۹-۴۶۴	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	جریان				در متر از ۴۶۰ متری یک گسل وجود دارد که میزان بازشدگی آن حدود ۲۰ تا ۵۰ سانتی متر بوده و در سقف به میزان کمی و در دیواره‌ها به میزان زیادی به وسیله گل پر شده است بخصوص در دیواره سمت راست این پرشدگی شدید و گاهی همراه با شسته شدگی است.	
۴۶۴-۴۸۵	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	خشک	-				
۴۸۵-۵۰۰	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	مرطوب				در این فاصله در اثر عملکرد گسل موجود در متر از حدود ۵۰۶ متری بعضی از درزه‌ها یا کلسیت و تعداد اندکی یا رس پر شده اند که هر چه از منطقه گسله دور می شویم این شرایط نیز کمتر مشاهده می شود.	
۵۰۰-۵۱۴	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	مرطوب و گاهی جریانی				در این متر از در دیواره سمت چپ یک گسل با جایگاهی حدود ۸۰ سانتی متر وجود دارد که در محل نصب قایمهای فلزی [متر از ۵۰۹/۵ تا ۵۱۴ (محل نصب قایمها)] به سقف نیز کشیده شده است و سبب ایجاد حفره گردیده است.	
۵۱۴-۵۲۶	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	مرطوب	-				
۵۲۶-۵۵۰	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	خشک	-				
۵۵۰-۶۰۰	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	مرطوب				در متر از ۵۵۶/۵ یک شکستگی به موازات تونل وجود دارد که از سقف تا دیواره‌های طرفین کشیده شده و بخش هایی از آن با گل پر شده و بخش هایی شسته شده است. در متر از حدود ۵۷۶ به موازات تونل یک شکستگی وجود دارد که از نیمه راست سقف تا دیواره سمت راست کشیده شده و به وسیله لایه های نازک کلسیت به رنگ تیره پر شده و نیز در همین متر از شکستگی دیگری به موازات تونل وجود دارد که با لایه نازکی (۲ میلی متر) از گل پر شده و بیشتر در دیواره‌ها دیده می شود.	
۶۰۰-۶۲۸/۵	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	مرطوب	-				
۶۲۸/۵-۶۳۳/۵	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۲۰	صفر	مرطوب				در این فاصله یک شکستگی که روند آن به موازات تونل می باشد وجود دارد که هم در سقف و هم در دیواره‌ها می توان آن را مشاهده کرد و میزان بازشدگی درزه مذکور حدود ۳۰ سانتی متر است که به وسیله لایه‌های نازک کلسیت تیره رنگ پر شده است.	

ادامه جدول ۴-۹- وضعیت زمین شناسی برداشت شده از تونل شماره یک

موضوع	نایبوستگی‌ها				موقعیت	تعداد دسته درزه	فاصله درزه‌ها از هم (cm)	بازشدگی درزه‌ها (cm)	آبدهی	توضیحات
	متر از تونل									
۶۳۲/۵-۶۵۰	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۲۰	صفر	مرطوب	-	-	-	-	
۶۵۰-۶۵۸	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۲۰	صفر	مرطوب	-	-	-	-	
۶۵۸-۶۶۱	دیواره‌ها	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۲۰	صفر	مرطوب	درزه‌ها در دیواره‌ها قابل مشاهده اند و قسمت سقف در این متر از حفره‌دار می باشد. (در این متر از نگهداری فلزی (قاب) نصب شده است).	-	-	-	
۶۶۱-۷۰۰	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۲۰	صفر	جریان کم	وجود گسل در متر از ۷۰۰ متری با بازشدگی ۵ تا ۲۰ سانتی متر.	-	-		
۷۰۰-۷۵۰	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۲۰	صفر	خشک	-	-	-	-	
۷۵۰-۷۹۲	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۲۰	صفر	خشک	-	-	-	-	
۷۹۲-۸۰۰	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۲۰	صفر	خشک	در متر از حدود ۷۹۳ شکستگی ای وجود دارد که به موازات تونل می باشد و به وسیله لایه های نازک کلسیت تیره و روشن پر شده است و میزان بازشدگی آن حدود ۲۰ سانتی متر است.	-	-	-	
۸۰۰-۸۵۰	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۲۰	صفر	خشک	-	-	-	-	
۸۵۰-۸۶۴	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۲۰	صفر	خشک	در متر از های ابتدایی این محدوده (حدود ۸۵۰ تا ۸۵۴) مواردی دیده می شود که بعضی از درزه‌ها به وسیله کلسیت پر شده‌اند.	-	-	-	
۸۶۴-۸۶۶	سقف-دیواره	۲	۱=۵-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	خشک	در این متر از یک شکستگی در دیواره سمت چپ وجود دارد که حدود نیم متر بازشدگی داشته و بخش هایی از آن شسته و بخش هایی نیز یا گل پر شده است.	-	-	-	
۸۶۶-۸۹۸	سقف-دیواره	۲	۱=۵-۵۰ ۲=۵-۳۰	صفر	خشک	در بعضی موارد درزه‌ها به وسیله کلسیت پر شده‌اند.	-	-	-	
۸۹۸-۹۰۰	سقف-دیواره	۲	۱=۳۰ سانتی متر به بالا ۲=۵-۲۰	صفر	خشک	در این متر از تونل شکستگی ای وجود دارد که روند آن عمود بر امتداد تونل بوده و در سقف تونل بخش هایی از این درزه شسته شده و بخش هایی یا کلسیت پر شده است.	-	-	-	
۹۰۰-۹۱۳/۵	سقف-دیواره	۲	۱=۱۰-۵۰ ۲=۵-۲۰	صفر	خشک	-	-	-	-	
۹۱۳/۵-۹۵۰	سقف-دیواره	۲	۱=۵-۵۰ ۲=۵-۲۰	صفر	خشک	در بعضی موارد پرشدگی درزه‌ها با کلسیت و یکی دو مورد نیز درزه های شسته شده مشاهده می شود.	-	-	-	
۹۵۰-۹۷۰	سقف-دیواره	۲	۱=۵-۳۰ ۲=۵-۲۰	تقریباً ۰/۱	مرطوب	-	-	-	-	
۹۷۰-۱۱۹۰	-	-	-	-	-	در متر از ۱۱۹۰ متری گسل تقریباً قائم باعث ایجاد چشمه در کف تونل شده‌اند.	-	-		

۴-۵- نقش ساختارهای زمین شناسی در جریان آب زیرزمینی به تونل یک معدن انگوران

معدن انگوران تحت فشار صفحات عربستان و توران و در طی دوران سوم زمین شناسی (ترشیاری)، دچار چین خوردگی شده است و قسمت‌هایی به سمت بالا حرکت کرده و کوهستان‌ها (تاق‌دیس‌ها) را تشکیل داده و بخش‌هایی نیز به پایین حرکت نموده و دره‌ها (ناودیس‌ها) را تشکیل داده‌اند که به مرور زمان بر اثر رسوبگذاری و نیروهای فرسایشی دوران چهارم (کواترنری) به شکل دشت‌های هموار درآمده‌اند [۵۱].

نظر به اینکه در منطقه مورد مطالعه آب‌های زیرزمینی ناشی از آب باران و نفوذ آب‌های سطحی به زیر زمین بوده و حجم بزرگی از آب (آبخوان) وجود ندارد، لذا برای تحلیل نحوه جریان آب از انواع صفحات جدایی، نیاز به درک روشنی از الگوی زهکشی منطقه بوده که در بخش مربوط به تعیین سطح آب زیرزمینی معدن مورد بررسی قرار گرفت.

همان‌طور که در فصل ۲ نیز اشاره شد، طول بیشتری از تونل را آهک و قسمتی از انتهای آن را شیست تشکیل داده است. سنگ‌های تونل مورد مطالعه با دو پدیده کارستی شدن آهک و شیستوزیته در سنگ شیست مواجه‌اند، با این حال پرداختن به این موضوعات با جزئیات بیشتر در اینجا لازم نبوده و فقط به تعریف کوتاهی از هر کدام بسنده شده است.

- کارستی شدن

پدیده کارستی شدن در نتیجه انحلال سنگ در آب زیرزمینی به وجود می‌آید. این پدیده در سنگ‌های آهکی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است هر چند که در بعضی از سایر سنگ‌ها از جمله دولومیت، ژیپس و حتی مارن هم می‌توان چنین پدیده‌ای را کم و بیش مشاهده نمود. ایجاد حفرات کارستی گاه به ابعاد چندین متر در آهک‌ها بارها مشاهده و گزارش شده است. لذا در صورتی که حفرات کارستی حاوی آب باشند ممکن است مقادیر بسیار زیادی آب زیرزمینی را به سمت تونل هدایت نمایند.

- شیستوزیته

در قسمت انتهایی تونل، سنگ‌های حاوی رس در طی فرآیندهای تکتونیکی دچار پدیده شیستوزیته (تورق) شده‌اند. این پدیده موجب خرد شدگی توده سنگ شده، به گونه‌ای که سنگ به راحتی در امتداد صفحات این ورق‌ها جدا می‌شود. بدیهی است که تورق موجب کاهش مقاومت و افزایش ضریب نفوذپذیری توده سنگ می‌شود.

۴-۵-۱- صفحات درزه‌ها

درزه‌ها نوعی از شکستگی‌ها هستند که در امتداد آن‌ها هیچ گونه جابجایی صورت نگرفته است. نوع توده سنگ برای توسعه مسیرهای آب پارامتر تعیین کننده‌ای می‌باشد زیرا تعیین کننده ایزوتروپ یا انیزوتروپ بودن سنگ می‌باشد، بنابراین تأثیر اساسی در تشکیل درزه‌ها دارد. معمولاً در بین دسته درزه‌ها دو دسته از آنها از نظر فراوانی مهم‌تر هستند که این دو دسته درزه بر هم عمود هستند. در سنگ‌های رسوبی منطقه مورد مطالعه، ۲ دسته درزه وجود دارد که یکی از آنها به موازات لایه بندی بوده و حال آنکه دسته درزه دیگر به حالت عمود بر سطح لایه‌بندی قرار دارد.

۴-۵-۱-۱- بازشدگی^{۱۱}

به فاصله عمودی بین دو دیواره یک ناپیوستگی بازشدگی می‌گویند که به وسیله هوا، آب و یا مواد دیگر پر شده است. یکی از پارامترهایی که تأثیر بسیار مهمی در انتقال آب در مناطق درز و شکافدار به ویژه در مناطق کارستی دارد، بازشدگی درزه‌ها می‌باشد. این پارامتر همچنین بر روی فرآیند کارستی شدن و توسعه کارست تأثیر زیادی دارد. در تشکیل درزه‌ها جهت‌های متفاوت استرس باعث می‌شود که درزه‌ها در حالت اصلی خود دارای وضعیت غیر یکنواخت برای بازشدگی باشند. درزه‌های برشی با موقعیت خاص به صورت بسته تشکیل می‌شوند زیرا در حالت برش صفحات به روی یکدیگر لغزش دارند که ناشی از استرس نرمال، در زاویه حاده می‌باشد. برعکس درزه‌های کششی زاویه قائم با بیشترین استرس‌های کششی هستند که دارای تمایل طبیعی به بازشدگی در حین تشکیل بوده زیرا که سنگ در این حالت به دو طرف مخالف کشیده شده و درزه‌ها باز می‌شوند تا منجر به تشکیل شکاف‌ها گردند.

¹¹ Aperture

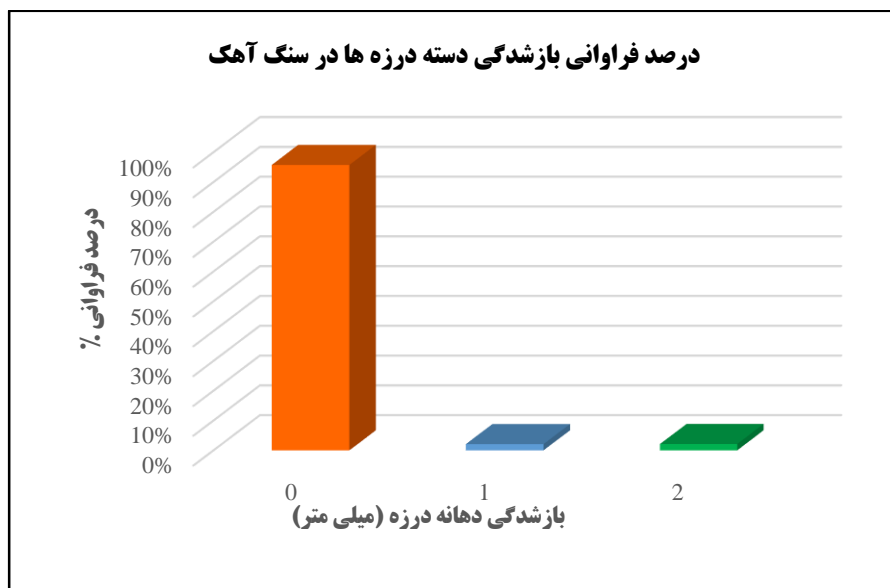
تا وقتی که درزه شکاف‌ها دوباره به وسیله فرآیند کانی‌زایی آب‌بند نشده است در مراحل بعدی، بازشدگی بزرگ می‌تواند مورد انتظار باشد.

بازشدگی جزئی و یا کامل درزه‌ها می‌تواند در مسیرهای مختلف به وقوع بپیوندد که بر این اساس باید بین دو حالت زیر تشخیص قائل شد:

- درزه‌های باز شده در اثر تکتونیک: همه درزه‌های مربوط به این وضعیت در اثر تکتونیک به وجود آمده و در همان زمان باز شده‌اند بدون اینکه مورد جوش خوردگی بعدی در اثر کانی‌زایی قرار گرفته باشند. درزه‌هایی با این توسعه عملاً در همه انواع سنگ‌ها یافت می‌شوند. نواحی تحت تاثیر تکتونیزم شدید به طور مثال هسته ناودیس‌ها و تاقدیس‌ها، مستقیماً ارجح می‌باشند و مربوط به حاشیه‌های نزدیک به سطح نیستند.

- درزه‌های تحت شرایط موفولوژی (درزه‌های تحت تاثیر آزاد سازی تنش): این درزه‌ها در اثر فرسایش لایه‌ها در نواحی نزدیک سطح و در نتیجه آزاد سازی فشار لایه‌های رویی به صورت درزه‌های جدید یا پنهان به وجود می‌آیند. این بازشدگی‌ها می‌تواند توسعه نیافته باقی بماند و یا کاملاً توسعه یابد که بسته به نوع سنگ و توپوگرافی می‌باشد. در اینجا حرکت رو به پایین نیز باید به خاطر آورده شود که باعث بازشدگی قابل ملاحظه‌ای در درزه‌ها مخصوصاً در زیر شیب‌های تند و سنگ‌های مستعد می‌گردد [۶۱]. زون آهکی از سنگ آهک دولومیتی نازک لایه به رنگ خاکستری تشکیل شده است. این سنگ‌ها مقداری دگرگونی را تحمل نموده‌اند. بین شکستگی و درزه سنگ‌ها را ماسه‌ای از جنس خود سنگ و رس پر کرده است. همان طور که در جدول ۴-۹ و تصویر ۴-۱۶ مشاهده می‌شود، در سنگ آهک بازشدگی دهانه درزه‌ها در ۹۴ درصد از فراوانی درزه‌ها صفر بوده و تنها در ۲ درصد دارای بازشدگی ۱ میلی‌متر و ۴ درصد دارای بازشدگی ۲ میلی‌متر می‌باشند. بنابراین با توجه به طبقه‌بندی صورت گرفته برای توصیف بازشدگی ناپیوستگی‌های سنگ (مشاهده جدول ۴-۱۰)، ۹۴ درصد درزه‌ها وضعیت شکستگی‌های بسته را داشته و در طبقه‌بندی درزه‌های کاملاً بسته قرار می‌گیرند، لذا عدم بازشدگی دهانه درزه‌ها به جزء در ۶ درصد از سنگ می‌تواند در عدم نفوذپذیری سنگ بسیار موثر باشد.

در زون شیستی تونل مورد بحث، لیتولوژی سنگ شامل کوارتزیت شیست آلتزه به همراه سیرسیت/کلریت شیست آلتزه و نسبتاً هوازده است. سنگ دچار دگرسانی و آلتراسیون شده اما ریزشی نیست. دو دسته درزه در این قسمت وجود دارد. تداوم این دسته درزه‌ها بیشتر از یک متر و فاصله‌داری آنها بین ۳ تا ۵ سانتی‌متر متغیر است. صفحات درزه به صورت درزه‌های صفحه‌ای زیر و نامنظم و با دهانه بازشدگی کمتر از ۱ میلی‌متر و به شدت هوازده بوده و نوع پرکننده ماسه‌ای، رسی و کربناتی است. با توجه به مطالب فوق و جدول ۴-۱۰ طبقه بندی بازشدگی ناپیوستگی‌ها، هر دو دسته درزه دارای وضعیت شکستگی‌های بسته تا باز بوده و در کلاس درزه‌های نسبتاً بسته تا کمی باز قرار می‌گیرند. بنابراین هوازدگی و خردشدگی شدید شیست‌ها طی فرآیندهای تکتونیکی باعث ایجاد درزه‌هایی با بازشدگی کمتر از ۱ میلی‌متر شده که موجب افزایش ضریب نفوذپذیری توده سنگ و گسترش مسیرهای عبور جریان آب شده است.



شکل ۴-۱۶- وضعیت بازشدگی درزه‌ها در زون آهک.

جدول ۴-۱۰- طبقه بندی برای توصیف بازشدگی ناپیوستگی های سنگ [۱۱۵]

وضعیت شکستگی	طبقه توصیفی	واحد	میزان بازشدگی
شکستگی های بسته	کاملاً بسته	mm	< ۰/۱
	بسته	mm	۰/۱ - ۰/۲۵
	نسبتاً بسته	mm	۰/۲۵ - ۰/۵
شکستگی های باز	کمی باز	mm	۰/۵ - ۲/۵
	نسبتاً باز	mm	۲/۵ - ۱۰
	باز	mm	> ۱۰
شکستگی های خیلی باز	خیلی باز	cm	۱ - ۱۰
	بی نهایت باز	cm	۱۰ - ۱۰۰
	غار مانند	cm	> ۱۰۰

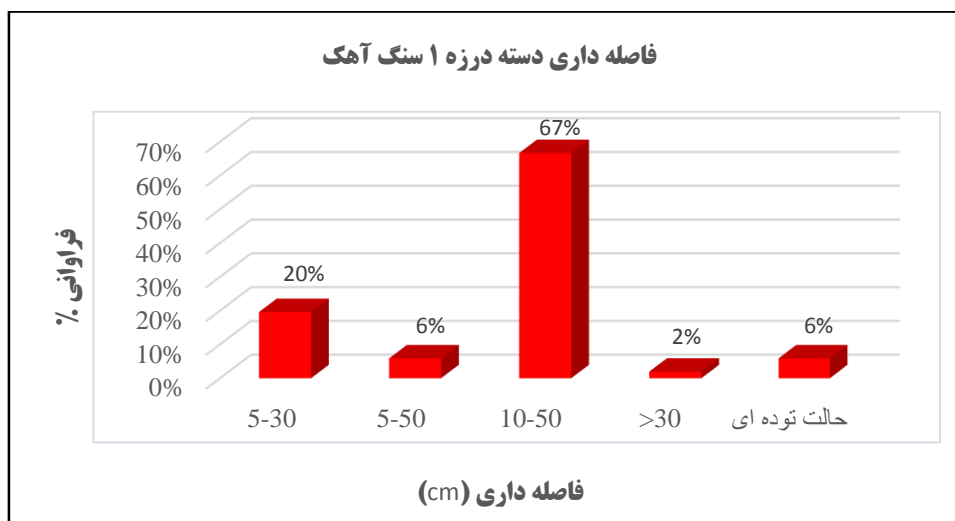
۴-۵-۱-۲- فاصله داری^{۱۲}

فاصله داری به صورت میانگین فاصله عمودی بین درزه های موجود در یک دسته درزه بیان می شود. فاصله ناپیوستگی ها به همراه عواملی چون جهت داری و تعداد دسته درزه ها، شکل و اندازه بلوک ها را کنترل می کند. هر چقدر فاصله درزه ها در یک دسته درزه کمتر باشد، ابعاد قطعه یا بلوک های تشکیل شده در یک سطح مشخص کاهش یافته و توده سنگ در همان سطح به بلوک های بیشتری تقسیم خواهد شد و این باعث افزایش ارتباط درزه ها و مسیرهای آب در شبکه درزه شده و در نتیجه باعث افزایش نفوذپذیری سیستم درزه خواهد شد. در نمودارهای ۴-۱۷، ۴-۱۸ و ۴-۱۹ فاصله داری دسته درزه های موجود در سنگ آهک و شیست نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود در سنگ آهک فاصله داری دسته درزه ۱ با ۶۷ درصد فراوانی در بازه [۵۰ - ۱۰] سانتی متر قرار گرفته است و در مقایسه با فاصله داری دسته درزه ۲ بیشتر است.

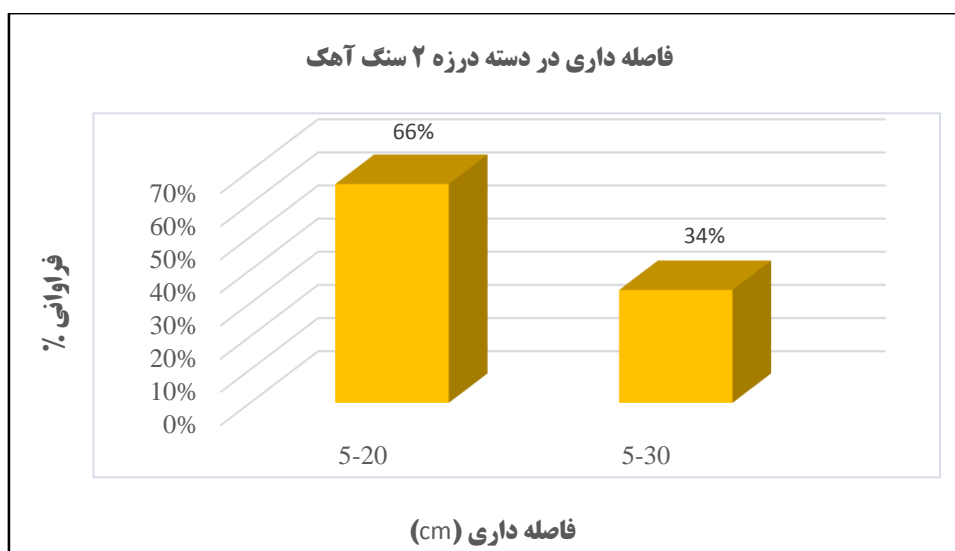
در سنگ شیست فاصله داری هر ۲ دسته درزه در بازه [۵-۳] سانتی متر می باشد که در مقایسه با فاصله داری درزه های سنگ آهک در بازه پایینی قرار گرفته است و این به دلیل خرد شدگی شدید و همچنین

¹² Spacing

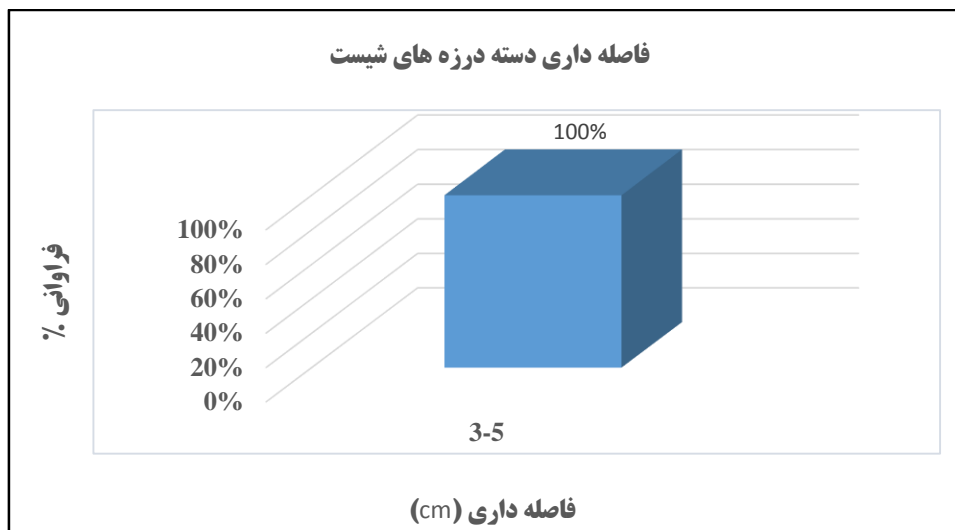
تابع نوع سنگ می‌باشد. به این ترتیب با توجه به بازشدگی درزه‌ها و فاصله داری کم آنها، درزه‌ها مسیرهای عبور جریان آب بوده و باعث تراوش آب به این قسمت شده‌اند. از طرفی صفحات شیستوزیته نیز یکی از پارامترهای کلیدی در نفوذپذیری سنگ می‌باشند چون در پدیده شیستوزیته، ساخت‌های موازی می‌توانند به شکل صفحاتی باشند که در افزایش نفوذپذیری و گسترش مسیرهای عبور آب موثر بوده و باعث جریان آب به فضای زیرزمینی شوند.



شکل ۴-۱۷- وضعیت فاصله داری دسته درزه ۱ سنگ آهک.



شکل ۴-۱۸- وضعیت فاصله داری دسته درزه ۲ سنگ آهک.



شکل ۴-۱۹- وضعیت فاصله داری درزه‌های سنگ شیب.

۴-۵-۱-۳- شیب^{۱۳}

در مبحث مربوط به درزه‌ها، آنها را از نظرهای گوناگون طبقه بندی می‌کنند. در آهک‌های تشکیل دهنده بخش اعظم تونل یک دو دسته درزه اصلی وجود دارد که دسته درزه اول به موازات لایه‌بندی و دسته درزه دوم عمود بر آن می‌باشند. لذا در اینجا لازم است یک طبقه بندی بر اساس هندسه درزه‌ها انجام شود. در تقسیم بندی هندسی درزه‌ها بر اساس وضعیت درزه نسبت به امتداد لایه‌بندی سنگ‌های مجاور طبقه بندی می‌شوند. در این تقسیم بندی انواع درزه‌های زیر را می‌توان تشخیص داد:

۱- درزه امتدادی: درزه امتدادی نوعی درزه است که امتداد آن موازی یا تقریباً موازی امتداد لایه‌بندی طبقات اطراف است.

۲- درزه شیبی: درزه شیبی درزه‌ای است که امتداد آن موازی یا تقریباً موازی خط بزرگ‌ترین شیب سطح لایه‌بندی طبقات اطراف است.

۳- درزه طبقه‌ای: اگر سطح درزه موازی سطح لایه‌بندی سنگ‌ها باشد درزه طبقه‌ای نام دارد.

۴- درزه مایل: اگر امتداد درزه نسبت به امتداد یا خط بزرگ‌ترین شیب سطح لایه‌بندی سنگ‌های اطراف مشخص نباشد به این نام خوانده می‌شوند.

¹³ Dip

برای بررسی تاثیر شیب درزه‌ها در جریان آب به تونل و همچنین تحلیل آنها از نظر ویژگی‌های آماری، شیب دسته درزه‌های سنگ آهک و شیست در جداول ۴-۱۱ و ۴-۱۲ آورده شده است.

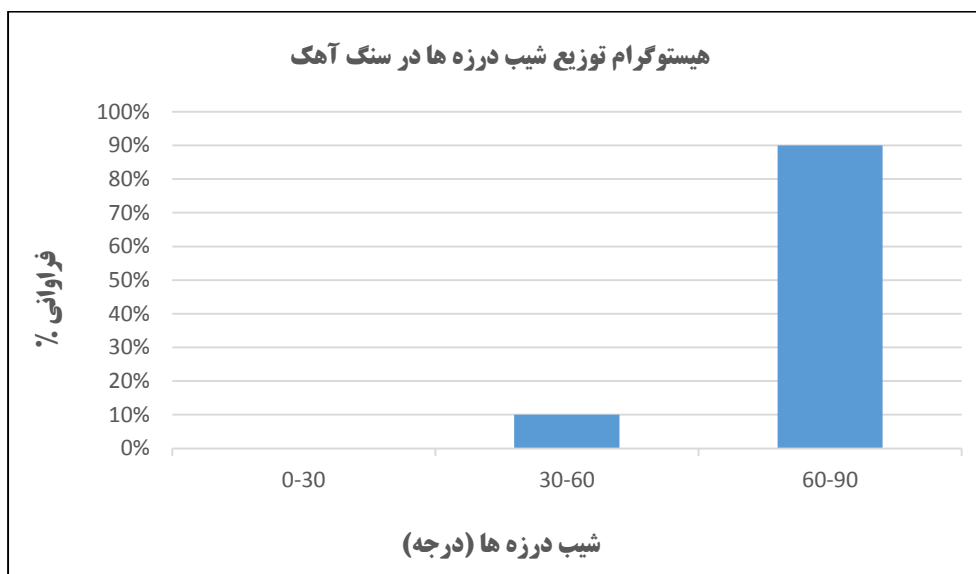
هر چقدر شیب درزه‌ها زیاد باشد نفوذ آب‌های سطحی به عمق زمین سهل‌تر و با سرعت بیشتری انجام خواهد شد. بنابراین شیب درزه‌ها نقش مهمی در هدایت آب به سمت فضای زیرزمینی خواهند داشت. برای تعیین وضعیت شیب در سنگ آهک و شیست هیستوگرام شیب درزه‌ها ترسیم شده است که در آن شیب با فواصل ۳۰ درجه در محور افقی و درصد فراوانی مربوط به آنها در محور قائم قرار گرفته‌اند. همان‌طور که در تصاویر ۴-۲۰ و ۴-۲۱ نمایش داده شده است، در سنگ آهک درزه‌های با شیب ۶۰ تا ۹۰ درجه، دارای ۹۰ درصد فراوانی می‌باشند که نشان دهنده متوسط شیب بالایی می‌باشد. و همچنین در سنگ شیست نیز تمامی درزه‌ها در بازه ۶۰ تا ۹۰ درجه جای دارند. بنابراین با توجه به مطالب فوق، پارامتر شیب درزه‌ها در هیدرولیک سنگ دارای اهمیت بسزایی می‌باشد. از طرفی با توجه به داده‌های جدول ۴-۱۱، در سنگ آهک دسته درزه ۲ با ۶۵ درصد درزه‌های تونل بیشترین تراکم درزه‌ای را داشته و نسبت به دسته درزه ۱ میانگین شیب بیشتری دارد.

جدول ۴-۱۱- شیب و جهت شیب درزه‌های برداشت شده سنگ آهک [۵۱]

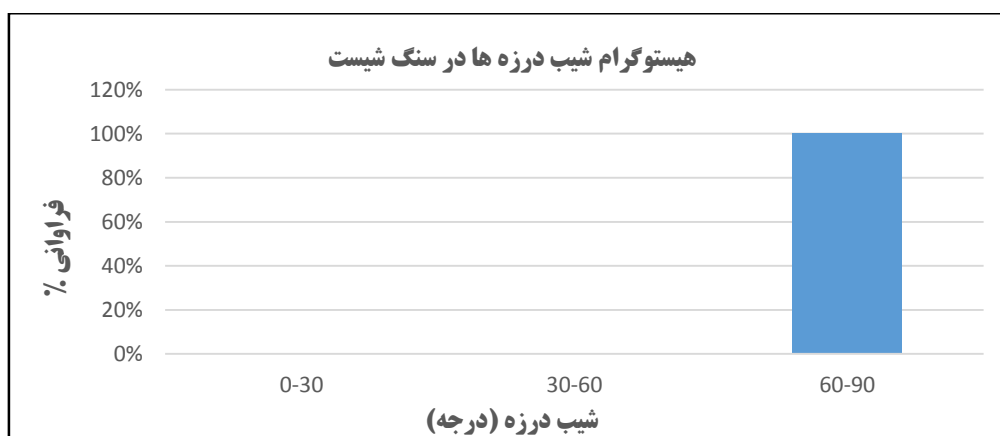
شیب (درجه)	جهت شیب (درجه)	وضعیت درزه نسبت به امتداد لایه‌بندی	دسته درزه
۴۱	۳۴۲	موازی	۱
۷۸	۱۷۹		
۷۵	۱۷۰		
۸۷	۱۶۳		
۶۹	۱۶۹		
۷۳	۱۷۹		
۷۹	۱۷۲		
۷۲	۱۸۴	عمود	۲
۵۱	۱۸۴		
۷۴	۱۸۸		
۸۴	۲۰۶		
۸۷	۴۰		
۶۳	۲۰۲		
۷۴	۱۹۲		
۸۳	۱۹۲		
۷۷	۱۸۴		
۷۹	۱۹۴		
۶۶	۱۸۴		
۷۳	۱۸۱		
۷۸	۱۸۶		

جدول ۴-۱۲- شیب و جهت شیب درزه‌های برداشت شده سنگ شیست [۵۱]

شیب (درجه)	جهت شیب (درجه)	وضعیت درزه نسبت به امتداد لایه‌بندی	دسته درزه
۷۳	۱۶۴	موازی	۱
۸۲	۱۶۴		
۶۷	۱۷۳		
۷۹	۲۴	عمود	۲



شکل ۴-۲۰- وضعیت شیب درزه‌ها در سنگ آهک.



شکل ۴-۲۱- وضعیت شیب درزه‌ها در سنگ شیست.

برای تحلیل داده‌های خام مربوط به شیب درزه‌ها از پارامترهای آماری استفاده شده و ویژگی‌هایی مانند میانگین، انحراف معیار و کج شدگی شیب محاسبه شده است (مشاهده جدول ۴-۱۳ و ۴-۱۴). در ادامه موارد مذکور برای هر کدام از سنگ‌های آهک و شیست شرح داده شده است:

- در سنگ آهک؛

میانگین شیب کلی درزه‌ها ۷۳ درجه بوده و دسته درزه ۱ که موازی امتداد لایه‌بندی می‌باشد دارای شیب کمتر از دسته درزه ۲ (عمود بر امتداد لایه‌بندی) می‌باشد. مقادیر انحراف معیار دسته درزه‌ها به یکدیگر نزدیک می‌باشند. کج شدگی در هر دو دسته درزه منفی می‌باشد که نمایانگر داده‌های دارای کشیدگی به طرف مقادیر کمتر از میانگین می‌باشد. این بدین مفهوم است که در بین داده‌ها مقادیری وجود دارند که شیب آنها از میانگین بسیار کمتر است.

- در سنگ شیست؛

میانگین شیب کلی درزه‌ها ۷۵ درجه می‌باشد و همچنین در سنگ شیست نیز همانند درزه‌های سنگ آهک شیب درزه‌های موازی امتداد لایه‌بندی کمتر از دسته درزه عمود بر آن است. انحراف معیار شیب کل درزه‌ها و دسته درزه ۱ بسیار نزدیک به یکدیگر بوده و انحراف معیار شیب دسته درزه ۲ صفر است که نشان دهنده یکسان بودن داده‌ها و عدم پراکندگی آنها می‌باشد.

جدول ۴-۱۳- پارامترهای آماری شیب درزه‌های سنگ آهک

نوع سنگ	ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته درزه ۱	دسته درزه ۲
آهک	میانگین شیب (درجه)	۷۳	۷۲	۷۴
	انحراف معیار شیب	۱۱/۰۲	۱۳/۵۷	۹/۲۸
	کج شدگی شیب	-۱/۵۱	-۱/۸۳	-۱/۰۵

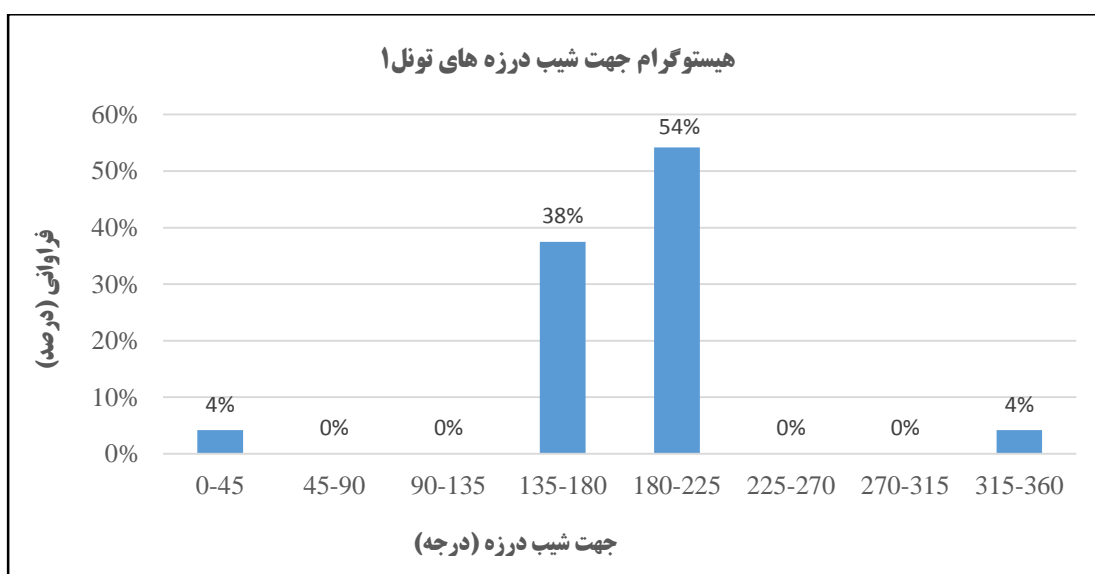
جدول ۴-۱۴- پارامترهای آماری شیب درزه‌های سنگ شیست

نوع سنگ	ویژگی آماری	کل درزه‌ها	دسته درزه ۱	دسته درزه ۲
شیست	میانگین شیب (درجه)	۷۵	۷۴	۷۹
	انحراف معیار شیب	۵/۷۶	۶/۱۶	۰
	کج شدگی شیب	-۰/۴۸	۰/۵۹	-

۴-۵-۱-۴- جهت شیب^{۱۴}

آب همیشه در مسیری جریان می‌یابد که در آن متحمل کم‌ترین افت پتانسیل گردد و همچنین همیشه در جهت کمترین مقاومت در عمق و یا سطح زمین جریان می‌یابد. جهت شیب یکی از موارد کلیدی دیگر است که در هیدروژئولوژی درزه‌ها مورد بحث قرار گرفته و تاثیر مثبتی در هدایت آب به سمت فضای زیرزمینی دارد.

برای مطالعه نحوه تاثیر جهت شیب بر جریان آب به تونل نمودار هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها رسم شده است. برای رسم چنین نموداری، جهت شیب درزه‌ها با فواصل ۴۵ متری در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل ۴-۲۲ می‌توان مشاهده کرد که بیشترین جهت شیب درزه‌ها در بازه ۱۸۰ تا ۲۲۵ درجه قرار دارد که درصد فراوانی ۵۴ درصد را به خود اختصاص داده است. دومین جهت شیب غالب در بازه ۱۳۵ تا ۱۸۰ درجه با فراوانی ۳۸ درصد قرار دارد. بنابراین اکثر درزه‌ها دارای جهت شیب بالایی می‌باشند، اما جهت بررسی نحوه تاثیر آن باید جهت هیستوگرام شیب درزه‌ها با جهت حفر تونل مقایسه شود. با توجه به امتداد تونل و مقایسه با هیستوگرام جهت شیب درزه‌ها، جهت شیب ۵۴ درصد از درزه‌ها به سمت تونل بوده و می‌تواند باعث هدایت جریان آب به سمت تونل شود.



شکل ۴-۲۲- هیستوگرام جهت شیب درزه‌های منطقه مورد مطالعه.

¹⁴ Dip Direction

۴-۵-۲- شکستگی‌ها

شکستگی‌ها سطوحی هستند که سنگ‌ها یا کانی‌ها در طول آنها شکسته شده و دو سطح آزاد را در جایی که قبلاً وجود نداشته‌اند می‌سازند. به عبارت دیگر شکستگی‌ها سطوحی هستند که در عرض آنها سنگ چسبندگی خود را از دست می‌دهد.

شکستگی‌ها به دو دلیل دارای اهمیت هستند. یکی به واسطه تحلیل وقایع تکتونیکی که در طی آنها شکستگی‌ها شکل گرفته است و دوم تعیین خصوصیات فیزیکی سنگ که در آن رخ داده‌اند. شکستگی‌ها در تعیین نفوذپذیری سنگ در جریان آب و خصوصیات نگه‌داری سیالات که می‌تواند در ارزیابی خصوصیات سفره‌های آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد، اهمیت زیادی دارند.

بر مبنای حرکت نسبی در عرض سطح شکستگی دو نوع اصلی از شکستگی‌ها تعریف شده است: ۱- شکستگی‌های کششی و ۲- شکستگی‌های برشی.

در شکستگی‌های کششی حرکت نسبی عمود بر دیواره‌های شکستگی انتشار می‌یابد. در شکستگی‌های برشی حرکت نسبی در طول زمان انتشار به صورت موازی با سطح شکستگی‌ها انجام می‌شود.

معیار توصیفی برای کلاسه بندی شکستگی شامل جهت گیری، حرکت نسبی بر روی صفحه شکستگی و هندسه شکستگی شامل جهت گیری، گسترش شکستگی‌های منفرد و الگوهای مشخص شکل گرفته به وسیله اجتماع شکستگی‌ها می‌باشد. به طور کلی جهت گیری شکستگی محدود کننده جهت‌های بالقوه جریان آب در سیستم سنگ می‌شود.

در منطقه مورد مطالعه مطابق جدول ۴-۱۵ برداشت‌های صحرایی خصوصیات و موقعیت شکستگی‌ها در مسیر تونل انجام شده است. شکستگی‌هایی که در مسیر تونل اتفاق افتاده و بعضی عمود و برخی دیگر موازی امتداد تونل می‌باشند، ناشی از عملکرد گسل‌ها بوده که باعث شکستگی سنگ شده‌اند. تعدادی از این شکستگی‌ها خشک و تعدادی نیز نمناک یا مرطوب می‌باشند. علت را می‌توان اینگونه بیان کرد که پرکننده که غالباً رس است به دلیل خاصیت نفوذناپذیری و جذب آب باعث خشک یا مرطوب بودن شکستگی شده است. از طرفی گسل‌هایی که مسیرهای اصلی عبور جریان آب به تونل بوده و به عنوان

مسیرهای هدایت آب بر دیگر مسیرهای ورود آب ارجحیت دارند (در ادامه مورد بحث واقع شده است) به عنوان زهکش عمل کرده و یا با ایجاد ارتباط با نواحی آبدار مانع هدایت آب به سمت شکستگی‌ها شده که در این صورت باعث خشک شدن شکستگی‌ها می‌شود.

جدول ۴-۱۵- وضعیت زمین شناسی شکستگی‌های برداشت شده تونل یک

آبدهی	شستگی	پرکننده	موقعیت	جهت با امتداد تونل	بازشدگی (cm)	تعداد	مترژ
مرطوب	بخشی	رس	سقف-دیواره	عمود	-	۱	۱۷۳-۲۰۰
مرطوب	-	رس	سقف-دیواره	عمود	-	۱	۲۰۰-۲۰۴/۸
مرطوب	بخشی	رس	سقف-دیواره	عمود	۱۵-۲۰	۳	۲۵۰-۲۶۱
مرطوب	-	-	دیواره	عمود	۲۰	۱	۳۰۳
مرطوب	-	رس-کلسیت	سقف-دیواره	موازی	-	۱	۴۱۶/۵-۴۲۰/۵
مرطوب	دیوار	رس در سقف	سقف-دیواره	عمود	-	۱	۴۱۶/۵-۴۲۰/۵
خشک	بخشی	رس	سقف-دیواره	موازی	۲۰-۵۰	۱	۴۵۹-۴۶۴
مرطوب	بخشی	رس	سقف-دیواره	موازی	-	۱	۵۵۶/۵
مرطوب	-	رس - کلسیت	سقف-دیواره	موازی	-	۱	۵۷۶
مرطوب	-	کلسیت	سقف-دیواره	موازی	۳۰	۱	۶۲۸/۵-۶۳۳/۵
خشک	-	رس	سقف-دیواره	موازی	۵۰	۱	۸۶۴-۸۶۶
خشک	بخشی	کلسیت	سقف	عمود	-	۱	۸۹۸-۹۰۰

۴-۵-۳- حفره‌های انحلالی^{۱۵}

سنگ‌های رسوبی که در حوضه‌های رسوبی دریایی و یا بعضاً در خشکی به وجود آمده‌اند. تحت تاثیر حرکات کوهزایی دوران‌های مختلف زمین شناسی قرار گرفته و به صورت چین خورده و تکتونیزه می‌باشند. این سنگ‌ها چنانچه تحت تاثیر عوامل فرسایشی قرار نگرفته باشند همگی سخت و تقریباً بدون خلل و فرج می‌باشند و در صورتی می‌توانند از نظر پتانسیل‌های آبی مورد توجه قرار گیرند که دارای درز و شکاف و فضای نفوذپذیر ثانویه شده باشند. سنگ‌های آهکی دارای تخلخل ثانویه می‌باشند و مقدار این تخلخل بستگی به درجه خلوص سنگ و میزان درز و شکاف‌های موجود در آن دارد. در اثر

¹⁵ Dissolution Cavities

تاثیر نیروهای تکتونیکی ناشی از حرکات کوهزایی، این سنگ‌ها دچار شکستگی شده که محل مناسبی برای نفوذ بارش‌های اسیدی می‌باشد. آب باران با حل کردن گاز کربنیک موجود در هوا خاصیت اسیدی پیدا کرده و در نتیجه سبب حل شدن آهک و بازشدگی درز و شکاف‌ها می‌شود. جریان آب در داخل این شکاف‌ها می‌تواند آهک‌های با درجه خلوص کمتر را که همراه خاک رس می‌باشد سریع‌تر شسته و حفرات بزرگ به وجود آورد. در صورتی که این حفرات راه فرار نداشته باشند، آب در داخل آنها ذخیره خواهد شد.

تشخیص درز و شکافی بودن حفره‌ها و همچنین فراوانی بازشدگی‌های کارستی و نحوه توزیع آنها در مبحث هدایت هیدرولیکی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه گسل‌ها و شکستگی و درز و شکاف‌های ناشی از تاثیر نیروهای درونی زمین به صورت کششی و همچنین بازشدگی-های ناشی از انحلال و شسته شدن مواد نرم‌تر و یا خرد شده می‌تواند ظرفیت نفوذپذیری و ذخیره سازی آب را در این قبیل سنگ‌ها افزایش دهد. در طول تونل چندین حفره با بازشدگی ۵۰ تا ۸۰ سانتی متر وجود دارد که از لحاظ آبدهی، حفره‌های نزدیک گسل‌های نرمال که تحت تاثیر نیروهای کششی قرار گرفته‌اند به جهت اینکه با درزه و شکاف‌ها ارتباط خوبی دارند باعث ایجاد شبکه هدایت آب به تونل شده‌اند. در اکثر حفره‌ها نفوذ آب به صورت قطره‌های آهسته مداوم یا نمناک تا قطره‌های خیلی آهسته بوده و بعضی از حفره‌ها نیز خشک می‌باشند. طی برداشت‌ها و مطالعات صحرائی، نقشه محل‌های خروج آب در تمام طول ۱۱۹۰ متر تونل تهیه شده و در ادامه آورده شده است.

۴-۵-۴- لایه بندی^{۱۶}

کانسار انگوران در بخش مرکزی یک تاقدیس، بین دو بخش دگرگونی شیستی و آهکی واقع شده است. در کمر بالای کانسار، طبقات آهکی قرار دارند و شیب کلی آنها حدود ۲۰ - ۲۵ درجه به سمت جنوب شرق است. در کمر پایین، شیست‌های دگرگونی قرار دارند که شیب کلی آنها ۱۰ - ۲۵ درجه و در

¹⁶ Bedding

همان جهت جنوب شرق است. لایه‌های آهکی با ضخامت حداقل ۵۰ سانتی‌متر وجود داشته و امتداد لایه‌ها در جهت تقریباً عمود بر امتداد تونل می‌باشد [۵۱].

نظر به اینکه لایه‌بندی سنگ‌ها دارای شیب کمی بوده و تقریباً به صورت افقی قرار گرفته‌اند، می‌توان اینگونه بیان کرد که به دلیل نیروی ناشی از وزن طبقات، لایه‌های سنگ آهک در سطوح لایه‌بندی هیچ گونه بازشدگی نداشته لذا مسیری جهت عبور جریان آب در بین لایه‌ها تشکیل نشده است. البته با کاهش عمق قرار گیری سنگ‌ها و با نزدیک شدن به سطح زمین، نیروی وزن طبقات کاهش یافته و سطوح لایه‌بندی بازشدگی ناچیزی خواهند داشت. لایه‌های آهکی تونل به طور محلی دارای درزه‌های ریز و غالباً بسته می‌باشند که در نتیجه آن نفوذناپذیر بوده و یا نفوذپذیری کمی را پدید آورده‌اند.

۴-۵-۵- میزان شیب دامنه‌ها

در دامنه‌هایی که دارای شیب تند می‌باشند امکان نفوذ آب ناشی از بارش باران به درون زمین کم خواهد بود. بنابراین به دلیل وضعیت توپوگرافی نفوذپذیری سنگ امکان توسعه بیشتر ندارد.

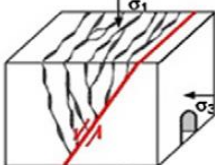
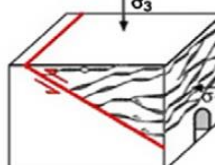

۴-۵-۶- گسل‌ها^{۱۷}

نتایج و داده‌های اکثر مطالعات انجام شده در مقالات نشان دهنده این است که مسیرهای انتقال آب در سنگ خیلی نامنظم بوده و پیش بینی رفتار هیدرولیکی نواحی گسلی به دلیل ساختار فضایی و نفوذپذیری متغیر آنها دشوار است. از طرفی تاثیر مناطق گسلی بر جریان آب درون یک منطقه، فقط به نفوذپذیری آنها نسبت به سنگ میزبان بستگی ندارد بلکه به اندازه و نحوه اتصال آنها به مناطق آبدار نیز بستگی دارد. گسل‌ها بسته به نوع آنها تاثیرات متفاوتی بر هدایت هیدرولیکی دارند. در بسیاری موارد، گسل‌ها مسیر عبور و انتقال دهنده آب‌های زیرزمینی هستند و در مقابل در بعضی مواقع ممکن است با حرکت سنگ‌ها و قرار گرفتن سنگ‌های با نفوذپذیری ناچیز یا نفوذناپذیر در برابر سنگ‌های نفوذپذیر مانند یک سد طبیعی مانع جریان و انتقال آب زیرزمینی شوند. گسل همچنین ممکن است با کانی‌سازی و رسوب مواد در طول زمان به طور موثری شکستگی‌های ایجاد شده توسط گسل را پر نماید،

¹⁷ Faults

بنابراین می‌تواند حرکت قابل توجهی از آب‌های زیرزمینی را در بین ساختارهای زمین‌شناسی محدود کند.

همان‌طور که بیان شد، نوع گسل و ویژگی‌های سنگ‌های اطراف آن یکی از عوامل تاثیرگذار در جریان آب به درون تونل است. سه گروه اصلی از مناطق گسلی شامل نرمال، امتداد لغز و گسل‌های معکوس وجود دارد. در شکل ۴-۲۳ گروه‌های اصلی ترکیب توده سنگ‌های گسل خورده آورده شده است.

گروه	نوع گسل	رژیم تکتونیکی	طرح بلوک	شرح ناپیوستگی
۱	نرمال	کششی		شکستگی‌های عمودی باز با اتصال خوب به سطح لغزش اصلی. این شکستگی‌ها عموماً قادر به هدایت آب تا عمق ۲۰۰ متر هستند.
۲	معکوس	فشاری		شکستگی‌های افقی با بازشدگی کم که دارای جریان پایین بوده اما بی‌ثباتی شدید هیدرولیک می‌باشد.
۳	امتداد لغز	برشی		شکستگی‌های برشی و تنش عمودی دارای ارتباط زیاد باعث جریان بالای آب به تونل بویژه در عمق بیش از ۲۰۰ متر می‌شود.

شکل ۴-۲۳- گروه‌های اصلی ترکیب توده سنگ‌های گسل خورده [116].

از لحاظ تاثیر تنش موثر در هیدرژئولوژی گسل‌ها می‌توان این‌گونه بیان کرد که نفوذپذیری گسل‌ها توسط جهت تنش‌ها کنترل می‌شود و هدایت هیدرولیکی یا توسعه بازشدگی و جریان آب در آن تابعی از تنش نرمال اعمال شده می‌باشد. در شرایطی که تنش غیر یکنواخت باشد، گسل‌ها تحت تاثیر قرار گرفته و باعث تغییر در نفوذپذیری آنها و هدایت هیدرولیکی در سنگ می‌شود.

به‌طور کلی دو دسته گسل با آزمایش‌های مختلف در منطقه دیده می‌شود:

- ۱- گسل‌های اصلی: اکثر این گسل‌ها با امتداد حدوداً شرقی-غربی و شمال‌غرب - جنوب‌شرق با گسترش طولی بیشتر از ۲۰۰ متر وجود دارند.

۲- گسل‌های فرعی: با گسترش طولی کم (کم‌تر از ۵۰ متر) و جابجایی محدود با امتدادهای مختلف می‌باشند.

عمده تغییرات در مقاطع زمین شناسی توسط گسل‌های اصلی با امتداد شرقی - غربی رخ داده است. از جهت دیگر گسل‌های اصلی به دلیل اینکه دارای ابعاد بیشتری بوده و احتمال اتصال به گسل‌های دیگر و سیستم‌های آب در منطقه را دارند، دارای جریان آب بیشتری خواهند بود.

با وجود میزان بارش بالا در منطقه و نوع سنگ تشکیل دهنده، آب می‌تواند در خلل و فرج آهک ذخیره گشته و سپس انتقال یابد، لیکن به دلیل وجود گسل‌ها، فاقد توان ایجاد سفره می‌باشد و آب به لایه‌های زیرین آهک یعنی شیست منتقل می‌گردد. بنابراین مسیرهای ارجح ورود آب به تونل، گسل‌ها می‌باشند. سه نوع گسل در تونل ۱ دیده می‌شود که اطلاعات مربوط به آنها در جدول ۴-۱۶ آورده شده است.

جدول ۴-۱۶- مشخصات گسل‌های تونل یک معدن سرب و روی انگوران

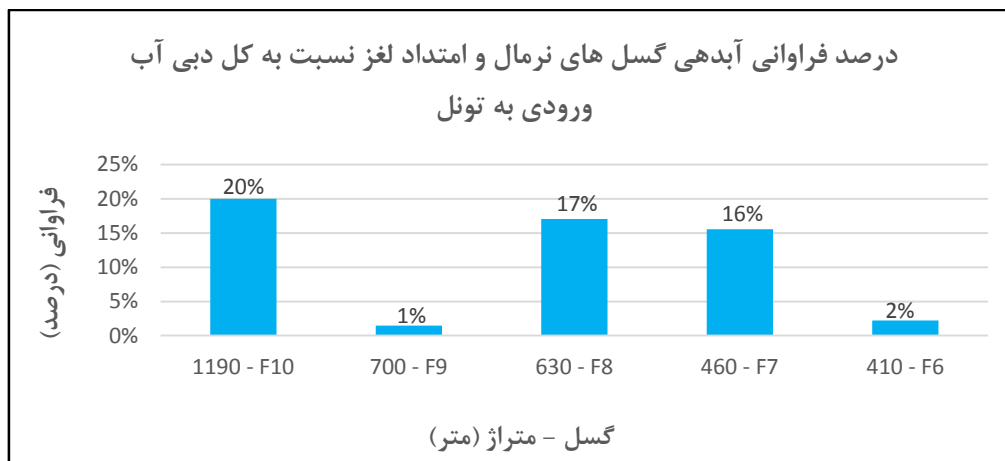
شماره	نوع گسل	رژیم تکتونیکی	بازشدگی (cm)	پرشدگی
۱	معکوس	فشاری	۵ - ۲۰	خردشده
۲	معکوس	فشاری	۵ - ۵۰	رس
۳	معکوس	فشاری	۳۵ - ۴۵	رس و کلسیت
۴	معکوس	فشاری	۵ - ۲۰	رس
۵	معکوس	فشاری	۵ - ۲۰	رس
۶	نرمال	کششی	۱۰ - ۵۰	بخشی رس
۷	نرمال	کششی	۵ - ۲۵	-
۸	نرمال	کششی	۱۰ - ۴۰	بخشی رس
۹	نرمال	کششی	(نگهداری فلزی)	خردشده
۱۰	امتداد لغز راست گرد	برشی	۵ - ۲۰	رس

تغییر پذیری در ساختار و محتوای منطقه گسل منجر به ناهمگونی درجه بالایی در نرخ جریان و محل ورود آب می‌شود. با اینکه در طول تونل گسل‌ها باعث ایجاد شکستگی‌هایی با بازشدگی‌های زیادی شده‌اند اما این شکستگی‌ها خشک یا مرطوب بوده و آبی در آنها جریان ندارد. بیشترین آب ورودی به تونل از چهار گسل نرمال و یک گسل امتداد لغز راست گرد می‌باشد که در ادامه به توضیح چگونگی

تعامل گسل‌ها با آب زیرزمینی پرداخته شده است. همان طور که ذکر شد سه نوع گسل در منطقه وجود دارد که از نظر هیدروژئولوژیکی بررسی می‌شوند:

الف - گسل‌های نرمال

به این نوع از گسل‌ها، گسل‌های شیب لغز اطلاق می‌شود یعنی امتداد اصلی لغزش در آنها موازی جهت شیب گسل بوده است. گسل‌های نرمال در اثر دور شدن دو قطعه از هم تشکیل شده و دارای ساز و کار کششی می‌باشند و در نتیجه امکان بازشدگی آنها به میزان چندین سانتی‌متر وجود دارد. در تونل مورد مطالعه گسل‌های F6، F7، F8 و F9، نرمال بوده و دارای بازشدگی به میزان ۵ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌باشند (مشاهده شکل ۴-۲۶). البته قابل ذکر است از نظر پرشدگی دارای پرشدگی بخشی با رس بوده و بیشتر پرشدگی‌ها شسته شده است. با توجه به برداشت‌ها و بازدیدهای صحرائی انجام شده، از کل آب ورودی به تونل ۲۹ درصد مربوط به آب ورودی از رمپ می‌باشد و مابقی آب مربوط به گسل‌ها، حفره‌ها و دیواره‌های زون شیستی می‌باشد. همان طور که در شکل ۴-۲۴ ملاحظه می‌شود، از بین گسل‌های نرمال، گسل F8 با فراوانی ۱۷ درصد نسبت به کل آب ورودی به تونل، بیشترین آب ورودی را به خود اختصاص داده است. سنگ میزبان گسل F8 آهک بوده و دارای زاویه ۵۵ درجه و جهت شیب ۹۵ درجه می‌باشد. حداکثر و حداقل آب خروجی از این گسل با توجه به میزان بارندگی منطقه به ترتیب ۱۰/۲ و ۱ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. دلیل برجسته بودن رفتار این گسل نسبت به گسل‌های دیگر، وجود زون خردشده با عرض حدود ۷ متر در اطراف گسل می‌باشد. بنابراین با مقایسه این گسل می‌توان متوجه شد که نفوذپذیری در زون خرد شده اطراف هسته بیشتر از نفوذپذیری هسته گسل است. در بین گسل‌های نرمال دومین گسل از نظر آبدهی F7 می‌باشد که دارای درصد فراوانی ۱۶ می‌باشد. حداکثر و حداقل میزان آب خروجی از این گسل به ترتیب ۹/۶ و ۰/۹۸ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. با این حال در ادامه و در بخش مربوط به تخمین میزان آب ورودی به تونل، مقدار کمی دبی آب خروجی از گسل‌ها آورده شده است.



شکل ۴-۲۴- مقایسه میزان دبی آب خروجی از گسل های نرمال و امتداد لغز نسبت به کل دبی آب تونل یک.

ب - گسل امتداد لغز راست گرد

گسل F10 یک گسل امتداد لغز راست گرد است که در متراژ ۱۱۹۰ متری در قسمت شیستی بر اثر رژیم تکتونیکی برشی تشکیل شده است و دارای زاویه شیب ۸۰ درجه و جهت شیب ۲۵۰ درجه می باشد. حداکثر آب خروجی از این گسل که به صورت چشمه در کف تونل درآمد است، در ماههایی که بارندگی زیاد است (مثل خرداد ماه)، ۱۲ لیتر بر ثانیه و همچنین در ماههایی که بارندگی کم بوده به حداقل میزان خود رسیده و ۱/۲۳ لیتر بر ثانیه اندازه گیری شده است. مقدار فراوانی خروج آب از این گسل نسبت به کل دبی آب ورودی به تونل ۲۰ درصد می باشد. لذا این گسل نسبت به گسل های نرمال آب بیشتری را به تونل هدایت می کند (مشاهده شکل ۴-۲۶).

ج - گسل های معکوس

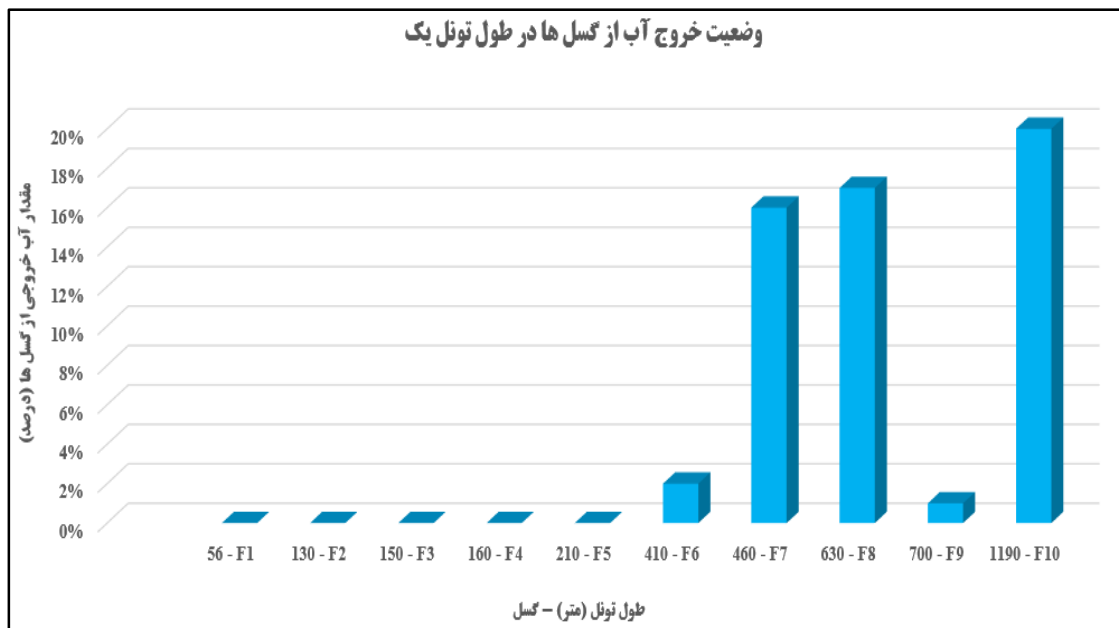
گسل های F1، F2، F3، F4 و F5 در زون آهکی تحت تاثیر رژیم تکتونیکی فشاری و بر اثر نزدیک شدن دو قطعه به هم ایجاد شده اند. این گسل ها اکثراً از آهک و کلسیت پر شده اند و به صورت خشک یا مرطوب می باشند. خشک بودن این گسل ها دلایل زیادی می تواند داشته باشد و تحلیل هیدروژئولوژی این نوع گسل ها دشوار می باشد. با این حال از دلایل عدم نفوذپذیری این گسل ها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- به دلیل ایجاد گسل با ساز و کار فشارشی درزه ها و شکستگی ها بسته می شود.

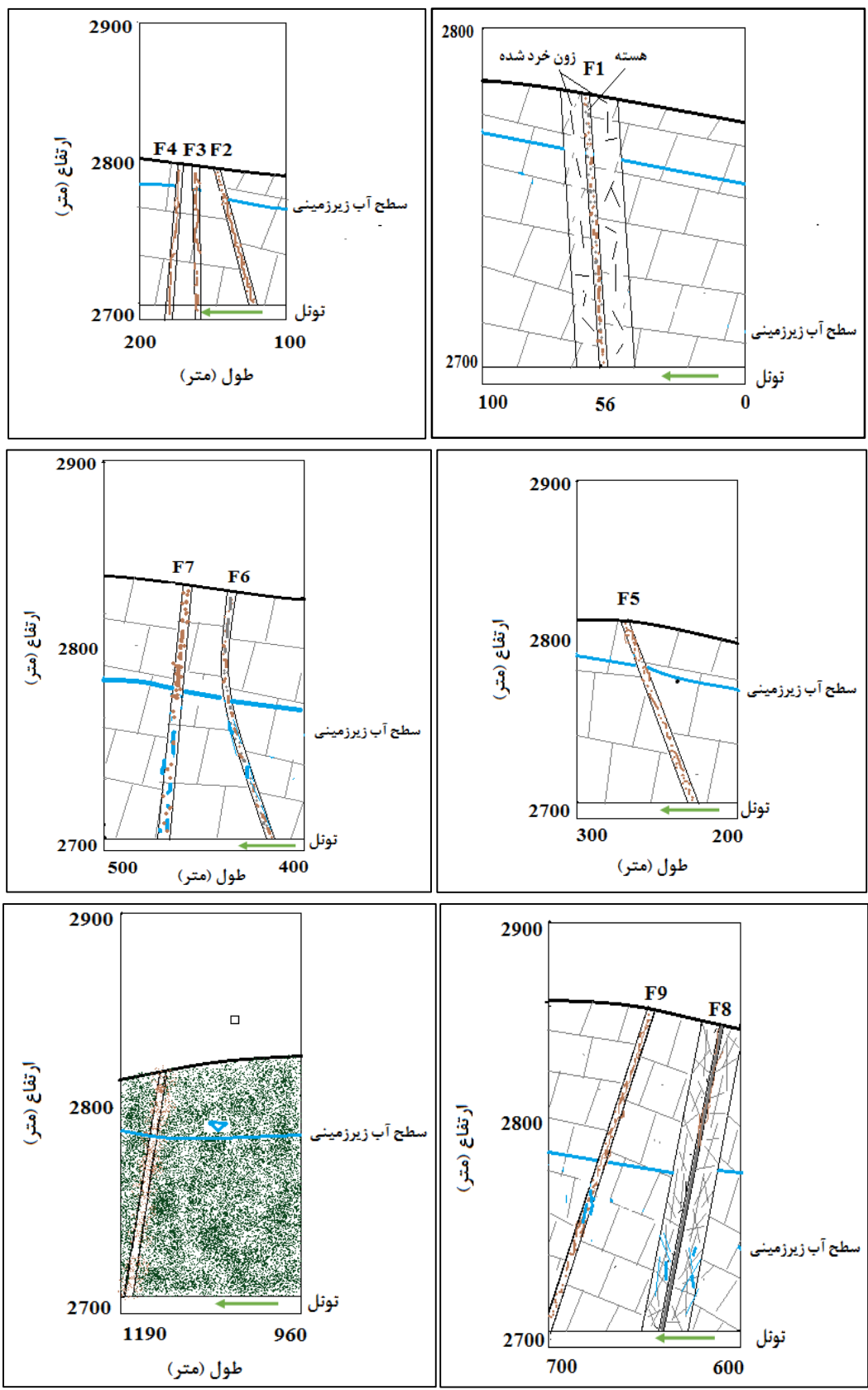
- مواد پرکننده مانند رس و برش و سیمانی شدن در طول صفحه گسل می‌تواند به عنوان یک مانع برای هدایت آب در طول صفحه گسل عمل نماید.

- با توجه به اینکه ارتفاع روباره در مقاطعی که گسل‌های معکوس اتفاق افتاده‌اند نسبت به نواحی دیگر تونل کم می‌باشد و همچنین سطح آب زیرزمینی در این قسمت نسبت به میانه طول تونل کمتر است می‌توان اینگونه بیان کرد که گسل‌های نرمال به عنوان زهکش طبیعی عمل نموده و از حرکت آب به سمت این گسل‌ها جلوگیری می‌کنند (مشاهده شکل ۴-۲۶).

وضعیت خروج آب از تمامی گسل‌های تونل یک معدن سرب و روی انگوران به صورت میزان خروج آب در طول تونل همراه با نمایش شماتیک زمین شناسی تونل در شکل ۴-۲۵ آورده شده است.



شکل ۴-۲۵- نمایش شماتیک وضعیت خروج آب از گسل‌ها در طول تونل یک.



شکل ۴-۲۶- نمایش شماتیک مدل زمین شناسی و هیدروژئولوژی گسل‌های تونل یک انگوران - برداشت صحرائی.

۴-۵-۷- نتایج حاصل از مطالعه مسیره‌های خروج آب در تونل یک معدن سرب و روی

انگوران

همان طور که در مباحث قبلی نیز اشاره گردید، هیدروژئولوژی یا آب‌های زیرزمینی در یک منطقه به همان میزان که به رفتار هیدرولوژیکی منطقه مرتبط می‌باشد با زمین‌شناسی و ساختمان‌های زیر سطحی نیز ارتباط دارد.

منطقه از نظر بارش در شرایط مناسبی از نظر میزان کل بارش قرار دارد. لذا شرط دوم جهت شکل‌گیری سفره آب زیرزمینی، وجود ساختمان‌های زیر سطحی مناسب جهت جذب و نگهداری آب‌های نفوذی می‌باشد. در بخش مطالعات زمین‌شناسی منطقه آمده که منطقه مورد مطالعه در زون سنندج - سیرجان واقع شده است. یکی از مهمترین اختصاصات زمین‌شناسی ساختمانی این زون، پیچیدگی سیستم گسل خوردگی و خردشدگی آن می‌باشد. به همین دلیل اغلب لایه‌ها و تشکیلات زمین‌شناسی که به طور معمول منبع مناسبی جهت انتقال و ذخیره آب می‌باشند، (نظیر تشکیلات آهکی توده‌ای) به دلیل محاط بودن در سیستم‌های متعدد گسلی و عدم پیوستگی، فاقد توان ایجاد سفره آبی با حجم و وسعت قابل توجه می‌باشند. مطالعه رواناب موجود در منطقه نیز حاکی از این واقعیت بوده که منابع بارش در منطقه نیز به صورت رواناب‌های سطحی در ماه‌های فصل بهار، سریعاً از منطقه خارج می‌شود. بخشی از این رواناب‌ها نیز پس از نفوذ محدود و کم حجم آب در آهک‌های کم ضخامت، سریعاً به صورت چشمه‌های نشتی از آهک‌ها تخلیه می‌گردند [۵۱].

مطابق شکل ۴-۲۷ بر اساس برداشت‌ها و مطالعات صحرایی انجام شده، نقشه محل‌های خروج آب بر اساس میزان آبدهی آنها طبقه‌بندی شده که بر اساس آنها تقسیم بندی کیفی صورت گرفته است. محل‌هایی مانند گسل‌ها که امکان اندازه‌گیری تخلیه آب بود، به صورت کمی آورده شده است.

محل‌های خروج آب از نظر آبدهی را می‌توان به صورت زیر کلاس بندی نمود:

- W^{000} : خشک

- W^{00} : نمناک تا قطره‌های خیلی آهسته

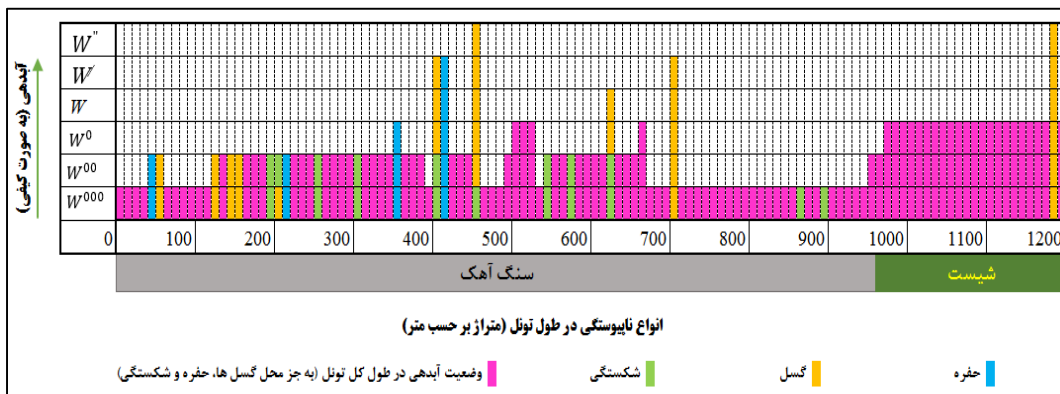
- W^0 : قطره‌های آهسته مداوم

- W : قطره‌های شدید

- W' : جریان آب با حجم کم و ثابت

- W'' : جریان آب با حجم زیاد و ثابت

نظر به اینکه اکثر نقاط تونل یک دارای مقاومت بسیار خوب از نظر تحکیم و نگهداری می‌باشد، بنابراین بیشتر طول تونل بدون نگهداری بوده و اکثر محل‌های خروج آب بدون محدودیت ملاحظه و برداشت گردید. لازم به توضیح است که چون سنگ‌ها و مسیرهای خروج آب تحت تاثیر انفجار قرار گرفته و تا حدودی متفاوت با اندازه واقعی می‌باشند و مقداری خطا وجود خواهد داشت ولی با توجه به مطالعه تعداد زیادی از خروجی‌های آب در طول تونل از مقدار این خطا کاسته شده و توزیع مسیرهای آب و نحوه خروج آنها به طور متوسط در ارتباط با شرایط واقعی خواهد بود. همان طور که در شکل ۴-۲۸ ملاحظه می‌شود بیشترین آب ورودی به تونل از گسل‌ها می‌باشد که به صورت مسیرهای هدایت آب ارجح در کل طول تونل می‌باشند. با این حال بیشتر محل‌های خروج آب در کل تونل انگوران (متر ۰-۱۱۹۰ متر) برداشت و در نقشه مطالعه هیدروژئولوژی جانمایی شده است. مشاهده می‌شود که آب خروجی از حفره‌ها و شکستگی‌ها خیلی ناچیز بوده و در اکثر موارد (تمام موارد) به صورت مرطوب یا خشک می‌باشند. تعدادی از گسل‌ها نیز بسته به نوع گسل خشک یا مرطوب بوده اما تعدادی از آنها به صورت مسیرهای اصلی هدایت هیدرولیکی عمل کرده و بیشترین دبی آب ورودی به تونل از همین گسل‌ها می‌باشد. در شکل ۴-۲۷ نیز وضعیت خروج آب از ناپیوستگی‌ها در تمام طول ۱۱۹۰ متر از تونل به صورت نمایش ستونی آبدهی (کیفی) در مقابل انواع ناپیوستگی رسم شده است.



شکل ۴-۲۷- نقشه خروجی‌های آب طبقه بندی شده بر اساس آبدهی آنها (برداشت صحرايي).

برای بررسی نتایج نقشه خروجی‌های آب، فراوانی و وضعیت هر کدام از مسیرهای ورود آب به تونل محاسبه و در جدول ۴-۱۸ آورده شده است. همچنین وضعیت کل طول تونل از نظر ورود آب به آن (به جز گسل، حفره و شکستگی‌ها) در جدول ۴-۱۹ قابل مشاهده است.

نتایج تحلیل‌های انجام شده را می‌توان به شرح زیر نوشت:

- از بین ساختارهای زمین شناسی موجود در تونل، ۴۵ درصد مسیرهای خروج آب مربوط به گسل‌ها می‌باشند.

- بیشترین مسیرهای خروج آب در نواحی گسلی بوده و در متراژ ۴۱۰ تا ۱۱۹۰ متری طول تونل قرار دارند. کل میزان آب خروجی از گسل‌ها با فراوانی ۵۶ درصد نسبت به کل آب ورودی به تونل، در حالت ماکزیمم و مینیمم در مجموع به ترتیب $33/6$ لیتر و $3/4$ لیتر بر ثانیه می‌باشد.

- گسل‌هایی که به صورت مسیرهای خروج آب که حالت جریانی داشته و دبی آب قابل توجهی دارند دارای فراوانی ۲۳ درصد از کل فراوانی ناپیوستگی‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. مابقی ناپیوستگی‌ها یا به صورت قطره قطره بوده و یا مرطوب یا خشک می‌باشند.

- برای تعیین نواحی خشک، درصد مقاطع خشک نسبت به کل طول تونل محاسبه شده است. برای محاسبه این درصد به این ترتیب عمل شده که درصد نواحی خشک در مقاطع با طول ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ متر تعیین شده است. دلیل استفاده از چهار مقطع برای محاسبه درصد نواحی خشک، مقایسه قابلیت تعمیر یک ناحیه به کل تونل است. درصد مقاطع خشک تونل با طول‌های مقاطع مذکور به شرح زیر است:

- مقاطع خشک با طول ۲۰ متر ۳۱ درصد.

- مقاطع خشک با طول ۵۰ متر ۲۷ درصد.

- مقاطع خشک با طول ۱۰۰ متر ۱۷ درصد.

- مقاطع خشک با طول ۲۰۰ متر ۰ درصد.

جدول ۴-۱۷- طبقه بندی وضعیت محل های خروج آب و انواع ناپیوستگی

ناپیوستگی	وضعیت محل های خروج آب						تعداد	درصد (%)
	W ⁰⁰⁰	W ⁰⁰	W ⁰	W	W'	W''		
گسل	۱	۴	۰	۱	۲	۲	۱۰	۴۵
حفره	۰	۲	۱	۰	۱	۰	۴	۱۸
شکستگی	۰	۵	۳	۰	۰	۰	۸	۳۶
درصد (%)	۵	۵۰	۱۸	۵	۱۴	۹		

جدول ۴-۱۸- وضعیت ورود آب در تمام طول ۱۱۹۰ متر تونل (به جز گسل ها، شکستگی ها و حفره ها)

طول تونل (متر)	وضعیت آبدهی						تعداد
	W ⁰⁰⁰	W ⁰⁰	W ⁰	W	W'	W''	
۰-۱۱۹۰	۳۸	۳۳	۲۶	۰	۰	۰	۹۷
درصد (%)	۳۹	۳۴	*۲۷	۰	۰	۰	

*توجه: از فراوانی ۲۷ درصدی که وضعیت خروجی آب به صورت قطره های آهسته مداوم می باشد، ۲۳ درصد مربوط به شیبست و تنها ۴ درصد مربوط به سنگ آهک می باشد.

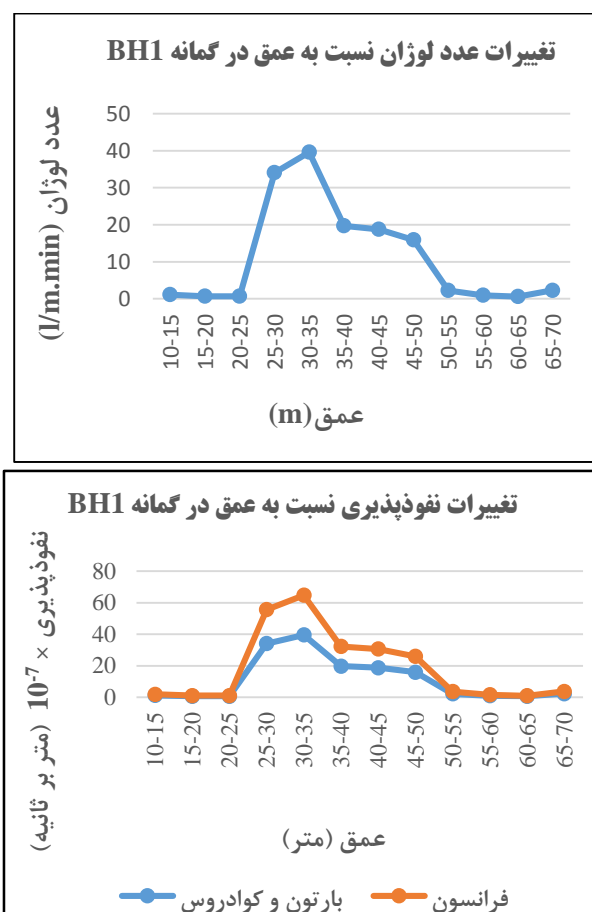
۴-۶- تخمین میزان آب ورودی به تونل یک با استفاده از روابط تحلیلی و تجربی

۴-۶-۱- تعیین نفوذپذیری معادل سنگ

برای تخمین میزان ورود آب به درون تونل ها روش های متفاوتی وجود دارد. این روش ها شامل روش های تحلیلی و تجربی با استفاده از نتایج فشار آب می باشند. هر کدام از متغیرهای روابط تحلیلی یک دامنه تجربی دارند که اهمیت آنها را مشخص می کند. نفوذپذیری (K) معادل، مهم ترین پارامتر موثر بر نفوذ آب است که در تخمین آن می بایستی دقت زیادی داشت. دامنه تغییرات نفوذپذیری در سنگ های دارای شکستگی بسیار گسترده تر از توده سنگ ها است که همین متغیر بودن پیش بینی را مشکل کرده است. در حالت مینیمم، مقداری در حدود 10^{-6} سانتی متر بر ثانیه خواهد داشت و در حالت ماکزیمم مقداری در حدود ۰/۱ سانتی متر بر ثانیه تخمین زده شده است. این دامنه براساس شرایط توده سنگ متغیر است [117].

در بخش مربوط به مطالب تست لوژان روابطی برای تخمین نفوذپذیری معادل معرفی شد. در اینجا به منظور بررسی روابط تجربی معرفی شده اطلاعات به دست آمده از آزمایش لوژان معدن سرب و روی انگوران استفاده می‌شود. همان طور که در بخش‌های قبلی شرح داده شد، در این معدن تعداد ۸ حلقه گمانه برای انجام آزمایش لوژان حفاری شده است. برای اعتبار سنجی و ارزیابی دقیق‌تر نفوذپذیری توده سنگ‌ها با استفاده از روابط تجربی، به عنوان نمونه به بررسی این روابط در یکی از گمانه‌ها (BH1) پرداخته می‌شود.

به منظور نشان دادن تغییرات مقدار عدد لوژان و نفوذپذیری نسبت به عمق، منحنی‌های عمق - لوژان و عمق - نفوذپذیری بر اساس روابط مختلف، برای گمانه ۱ در شکل ۴-۲۹ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۴-۲۹ - منحنی‌های عمق - عدد لوژان و عمق - نفوذپذیری گمانه BH1 بر اساس روابط فرانسون، بارتون و کوادروس.

همان طور که مشاهده می‌شود منحنی‌های رسم شده بر اساس اعداد به دست آمده برای نفوذپذیری از روابط مذکور، هماهنگی ظاهری خوبی با منحنی لوژان دارند. با توجه به اینکه عدد لوژان به دست آمده از آزمایش لوژان در مقایسه با عدد نفوذپذیری محاسبه شده با روابط دقیق تر می‌باشد، بنابراین منحنی که بیشترین انطباق را با منحنی عمق - لوژان داشته باشد، نتیجه بهتری خواهد داشت.

نفوذپذیری معادل توده سنگ معدن سرب و روی انگوران با استفاده از جداول، دیاگرام، نمودار و روابط مختلف بر حسب عدد لوژان محاسبه شده و در جدول ۴-۱۹ آورده شده است (همه روابط و روش‌هایی که در ادامه استفاده شده‌اند، در بخش مربوط به تحلیل تست لوژان توضیح داده شده است).

جدول ۴-۱۹- روابط مختلف جهت محاسبه نفوذپذیری توده سنگ

مرجع	نحوه محاسبه	نفوذپذیری (cm/s)	نوع سنگ
سازمان برنامه و بودجه	نمودار لوژان و K	$2 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-4}$	آهک
		$0 - 6 \times 10^{-4}$	شیست
هورسلو	$K = 5.9918 \times 10^{-8} \times N \text{ Log } \{ (L/2r) + ((1+(L/2r)^2)^{0.5}) \}$	$0.99 \times 10^{-6} - 33.86 \times 10^{-6}$	آهک
		$0 - 23.9 \times 10^{-6}$	شیست
USA	$K = 5.9918 \times 10^{-8} \times N \text{ log } (L/r) \text{ , if } L/r \geq 10$	$12 \times 10^{-6} - 41.1 \times 10^{-5}$	آهک
		$0 - 29 \times 10^{-5}$	شیست
گیلج و گاوارد	$K = 8.175 \times 10^{-8} \times N \{ \text{Log } (R/r) / 0.4343 + r/L \text{ Log } (R/r) \}$	شعاع تاثیر مجهول	آهک
		شعاع تاثیر مجهول	شیست
بارتون و کوادروس*	$K = 1 \times 10^{-7} \times N$	$1 \times 10^{-5} - 34 \times 10^{-5}$	آهک
		$0 - 24 \times 10^{-5}$	شیست
فرانسون*	$K = 1.635 \times 10^{-7} \times N$	$1.6 \times 10^{-5} - 56 \times 10^{-5}$	آهک
		$0 - 39 \times 10^{-5}$	شیست
کربلا	$K_u = 5.9918 \times 10^{-8} \times N$ $K_u = K/u \text{ , } u = \text{log } (R/r)$	شعاع تاثیر مجهول	آهک
		شعاع تاثیر مجهول	شیست

*توجه: روابط فرانسون و بارتون - کوادروس دارای ضریب همبستگی یک با اعداد لوژان می‌باشند.

۴-۶-۲- نتیجه محاسبات تحلیلی

برای انجام محاسبات تئوری میزان آب ورودی به تونل یک انگوران، طول تونل به دو زون آهکی و شیستی تقسیم‌بندی شده است. ضریب نفوذپذیری هر زون بر اساس وجود گمانه‌های تست فشار در

آهک و شپست و با استفاده از روابط تحلیلی به دست آمده است. و در انتها میزان ورود آب به تونل با استفاده از روابط تحلیلی برای ضرایب نفوذپذیری متفاوت به دست آمده از روش‌های مختلف محاسبه شده و با یکدیگر و با مقدار واقعی اندازه‌گیری شده، مقایسه خواهند شد. در سازندهای سخت مانند سنگ آهک در منطقه مورد مطالعه درز و ترک‌ها و گسل‌ها نقش هدایت آب را بر عهده دارند. علاوه بر موارد بالا سنگ‌ها کارستی می‌باشند.

بایستی توجه نمود که پراکندگی درز و ترک‌ها و عوارض کارستی در سنگ آهک ناهمسان بوده و شرایط متفاوتی را برای هدایت آب به تونل در قسمت‌های مختلف پدید آورده است. بنابراین تعیین نفوذپذیری معادل در طول تونل دشوار بوده و به انجام آزمایش‌های فشار آب بیشتری در طول تونل نیاز دارد. با این حال برای محاسبه دبی آب ورودی به تونل با استفاده از روابط تحلیلی، نفوذپذیری با استفاده از روابط مختلف به صورت بازه‌ای محاسبه شده و دارای کران بالا و پایین می‌باشد.

جدول ۴-۲۰ نتایج محاسبه میزان آب ورودی به تونل با استفاده از روابط تحلیلی را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که اکثر روابط میزان دبی آب بالایی را نشان می‌دهند و علت آن را می‌توان اینگونه بیان کرد:

- کم بودن تعداد تست‌های فشار آب در طول تونل و به تبع آن دشوار بودن تعیین نفوذپذیری معادل توده سنگ.
- حجم زیادی از جریان آب و افزایش ناگهانی عدد لوژان در برخورد با نواحی گسلی و خرد شده؛ اما این سنگ‌ها اغلب درصد کوچکی از منطقه اطراف تونل را شامل می‌شوند. در این حالت مقادیر نفوذپذیری بالاتر با مقادیر پایین‌تر مخلوط شده و مقدار نفوذپذیری در یک ناحیه تحت تاثیر مقادیر بیشتر قرار می‌گیرد.
- متفاوت بودن رفتار سنگ در هدایت آب به تونل در قسمت‌های مختلف تونل.

- در آزمایش لوژان حجم کوچکی از توده سنگ مورد آزمایش قرار می‌گیرد و نفوذپذیری محاسبه شده معادل نفوذپذیری توده سنگ‌های با حجم بیشتر فرض می‌شود، که این عمل خود باعث ایجاد خطا در محاسبه نفوذپذیری می‌شود.
 - در معادلات ارائه شده نفوذپذیری یکسانی برای حجم توده سنگ در نظر گرفته می‌شود در حالی که در توده سنگ‌ها در عمل، شرایط متفاوت می‌باشد.
- از آنجایی که استفاده از رابطه کارلسرود برای تونل‌های کم عمق توصیه شده است، در اینجا نیز نتایج آن نزدیک به مقدار واقعی اندازه‌گیری شده می‌باشد. در ادامه به مقایسه نتایج روش‌های تخمین میزان ورود آب به تونل با مقدار واقعی اندازه‌گیری شده پرداخته شده است.

جدول ۴-۲۰- نتایج محاسبه میزان آب ورودی به تونل با استفاده از روابط تحلیلی (بر حسب لیتر بر ثانیه)

لومباردی		کارلسرود		بهینه شده ال تانی		ال تانی		لی		گودمن		روش محاسبه
حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	نفوذپذیری
۵۳۹	۱۹	۵۶	۱۹	۲۲۵	۱۱	۵۳۹	۱۹	۵۴۱	۱۹	۵۴۰	۱۹	سازمان برنامه و بودجه
۳۹	۰/۹	۴	۰/۹	۱۹	۰/۵	۳۹	۰/۹	۳۹	۰/۹	۳۹	۰/۹	هورسلو
۴۷۷	۱۱	۴۹	۱۱	۲۳۰	۶	۴۷۶	۱۱	۴۷۸	۸۱	۴۷۷	۱۱	USA
۳۹۴	۹	۴۱	۹	۱۹۱	۵	۳۹۴	۹	۳۹۶	۹	۳۹۴	۹	بارتون و کوادروس
۶۴۸	۱۵	۱۹۶۷	۱۵	۳۱۴	۸	۶۴۸	۱۵	۶۵۱	۱۵	۶۴۹	۱۵	فرانسون

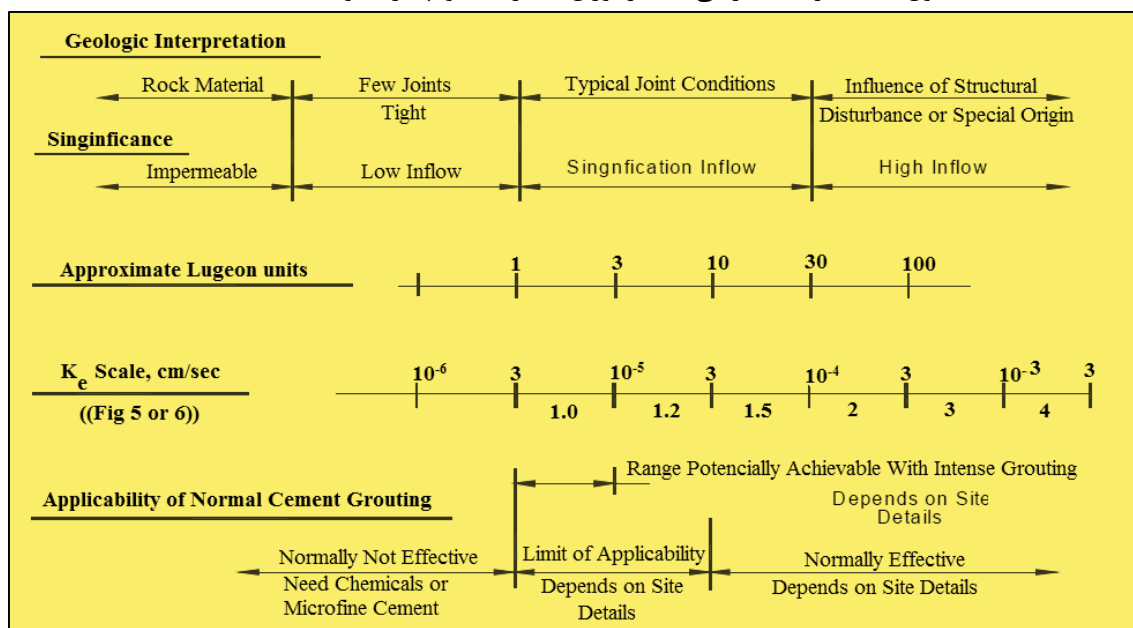
پارامترهای روابط تحلیلی: شعاع تونل (R) = ۲ متر ، فاصله مرکز تونل تا سطح ایستایی (H) = ۷۰ متر ، نفوذپذیری (K) = مطابق جدول ۴-۱۹

۴-۶-۳- نتایج محاسبات تجربی بر اساس مدل هیور

ابتدا با استفاده از جدول ۴-۲۱ ضریب نفوذپذیری معادل هر لوژان را به دست آورده سپس میزان دبی آب ورودی به تونل با استفاده از مدل هیور (۱۹۹۵) محاسبه شده است [118]. نتایج محاسبات انجام شده برای تعیین مقدار جریان به داخل تونل در شرایط پایدار در جدول ۴-۲۲ ارائه شده است. در سطر a، مقیاس نفوذپذیری معادل بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه، سطر b مقادیر تابع F_n (ضریب جریان اولیه)،

سطر c، تقریب واحد لوژان، سطر d، درصد مسیر تونل با نفوذپذیری معادل ارائه شده، سطر e طول مسیر تونل متناظر با سطر d بر حسب متر، سطر f مقدار نرمال شده شدت جریان پایدار دراز مدت بر حسب ارتفاع (q_s/h) برای هر دامنه نفوذپذیری بر حسب L/min/m/m، سطر g مقدار متوسط جریان دراز مدت (q_s) برای دامنه ضریب نفوذپذیری و ارتفاع ستون آب متناظر با مقطع مورد نظر بر حسب L/min/m، سطر h میزان نفوذ آب در هر مقطع از مسیر، محاسبه شده است. بر این اساس طول تونل به دو زون آهکی و شیست تقسیم بندی شده و مقدار کل آب ورودی به تونل معادل ۸/۴۲ لیتر بر ثانیه تخمین زده شده و همچنین مقدار حد بالایی مورد نظر معادل ۱۶/۹ لیتر بر ثانیه برآورد شده است.

جدول ۴-۲۱- ارتباط تقریبی مقادیر لوژان با ضریب نفوذپذیری توده سنگ [118]



جدول ۴-۲۲- نتایج محاسبات تجربی بر اساس مدل هیپور

آهک	a	10 ⁻⁶	3	10 ⁻⁵	3	10 ⁻⁴	3	10 ⁻³	3
	b								
	c	< 1	1-3	3-10	10-30	30-100			
	d	24 %	38 %	10 %	14 %	14 %			
	e	230.40	364.80	96.00	134.40	134.40			
	f	0.001	0.001	0.0032	0.012	0.028			
	g	0.070	0.084	0.420	1.610	3.500			
	h	16.13	25.54	21.50	112.90	263.42			
Q₁ = 439.49 L/min = 7.32 L/sec									
شیست	d	26 %	38 %	15 %	19 %	2 %			
	e	59.80	89.70 %	29.90 %	46.00 %	4.60 %			
	f	0.001	0.0012	0.004	0.012	0.022			
	g	4.19	7.53	8.37	38.64	7.08			
Q₂ = 65.81 L/mine = 1.1 L/sec									
جمع کل	Total Q = 505.3 L/min = 8.42 L/sec.								

۴-۶-۴- تحلیل نتایج روش‌های تحلیلی و تجربی و مقایسه با مقدار واقعی آب ورودی به

تونل یک

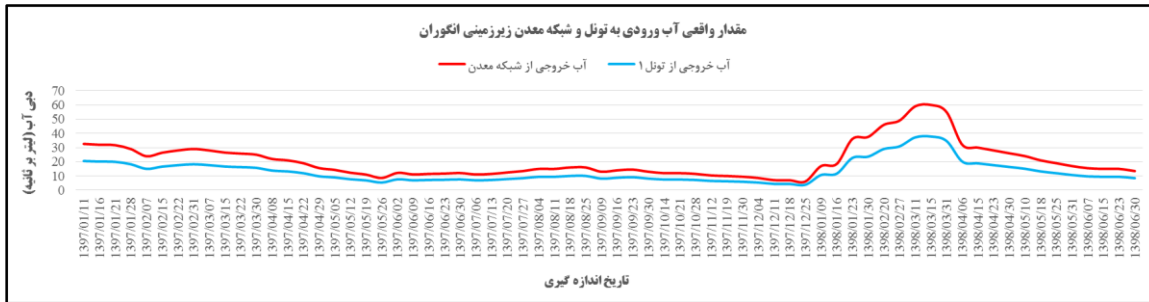
آنچه در استفاده از روابط تحلیلی حائز اهمیت است، شرایط استفاده از هر کدام از روابط می‌باشد. ال تانی در سال ۲۰۰۳ با بررسی هر کدام از روابط تحلیلی و نتایج حاصل از آن و مقایسه با میزان واقعی نفوذ آب به تونل‌ها میزان دقت این روابط را با توجه به عمقی که در آن قرار گرفته‌اند، مورد بررسی قرار داده است. وی رابطه زیر را به کار برد:

$$\Delta = \frac{Q_{ap} - Q}{Q} \quad (4-4)$$

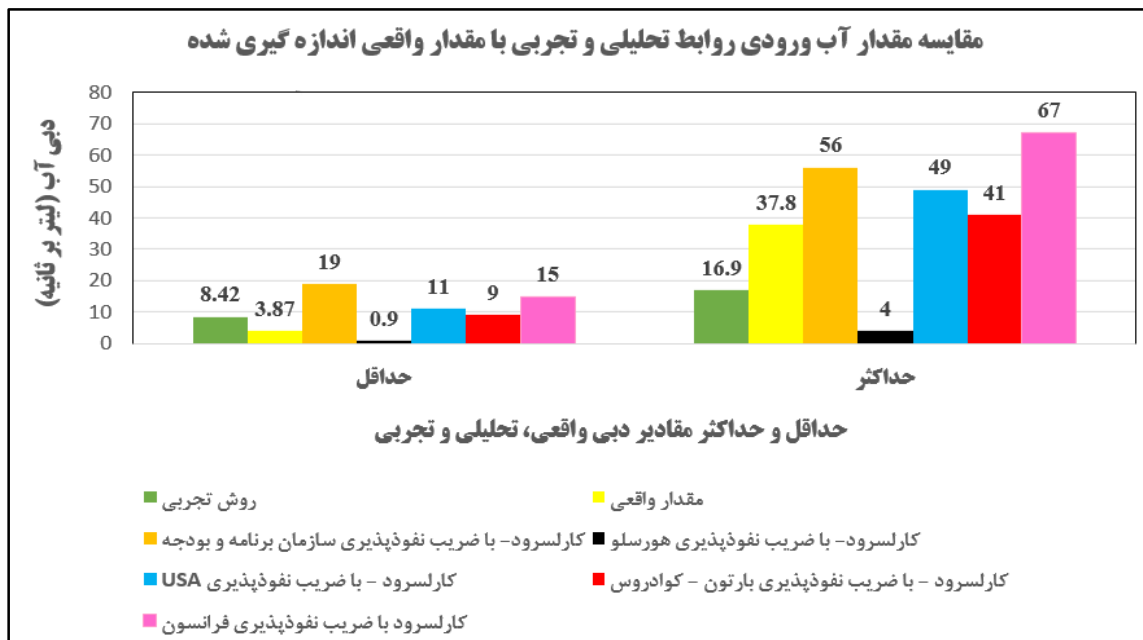
که در آن، Q_{ap} میزان نفوذ آب تقریبی است که از روابط به دست می‌آید، Q میزان واقعی نفوذ آب و Δ خطای نسبی ناشی از محاسبه نفوذ آب به تونل‌ها با استفاده از روابط تحلیلی است.

نتایج حاصل از روابط تحلیلی نشان می‌دهد که هر چه تونل در عمق بیشتری نسبت به سطح ایستابی قرار داشته باشد تمامی روابط با دقت خوبی می‌توانند میزان دبی آب را تخمین بزنند و هر چه تونل به سطح نزدیک‌تر باشد بعضی از روابط، نظیر معادله گودمن کارائی لازم را در محاسبه میزان نفوذ آب به تونل نخواهند داشت. این در حالی است که معادله کارلسرود در این شرایط هم با دقت خوبی می‌تواند میزان نفوذ آب را تخمین بزند [119].

با توجه به اینکه آب ورودی به گالری و کارگاه‌های استخراج نیز از طریق رمپ وارد تونل یک معدن می‌شود، لذا برای برآورد میزان ورود آب به تونل، میزان دبی آب نفوذی از قسمت‌های مختلف معدن و تونل از تاریخ ۱۳۹۷/۰۱/۱۱ تا ۱۳۹۸/۰۶/۳۰ اندازه‌گیری شده است. مقدار دبی آب در بازه زمانی مذکور در شکل ۴-۳۰ نمایش داده شده است. طبق برداشت‌های انجام شده حداقل آب ورودی به معدن و تونل یک به ترتیب برابر ۶/۱۵ و ۳/۸۷ لیتر بر ثانیه بوده است. همچنین حداکثر میزان آب ورودی به معدن و تونل یک به ترتیب ۶۰ و ۳۷/۸ لیتر بر ثانیه ثبت شده است. لازم به توضیح است که آب ورودی به گالری‌ها و کارگاه‌های استخراج تماماً وارد تونل نشده و قسمت اعظم آن توسط حفره‌ها، شکستگی‌ها و گسل‌ها به قسمت‌های زیرین توده سنگ نفوذ می‌کند. در شکل ۴-۳۱، نتایج تخمین میزان ورود آب به تونل توسط روابط تحلیلی و تجربی با مقدار واقعی اندازه‌گیری شده مقایسه شده‌اند. با توجه به جدول ۴-۲۲ و مقدار واقعی دبی آب، اکثر روابط تحلیلی به جز رابطه کارلسرود اختلاف زیادی با مقدار واقعی دارند. همان‌طور که در شکل ۴-۳۱ قابل مشاهده است، مقدار به دست آمده از روش تجربی هیور و همچنین دبی آب محاسبه شده توسط رابطه کارلسرود که با استفاده از ضریب نفوذپذیری بارتون - کوادروس تخمین زده شده است، نزدیک به مقدار واقعی اندازه‌گیری شده می‌باشند.



شکل ۴-۳- مقادیر واقعی آب ورودی به تونل و معدن زیرزمینی سرب و روی انگوران.



شکل ۴-۳۱- مقایسه نتایج تحلیلی و تجربی با مقدار واقعی اندازه گیری شده.

۴-۷- هزینه‌های احتمالی ناشی از ورود آب به تونل و فضاهاى زیرزمینی

مطالعات برآورد هزینه یکی از بخش‌های مهم بررسی‌های امکان سنجی پروژه‌های معدنی می‌باشد و نقش عمده‌ای در اقتصادی و یا غیر اقتصادی معرفی کردن پروژه‌ها ایفا می‌کند. بدین ترتیب برآوردهای مستند و قابل اعتماد هزینه‌ها و در کنار آن تخمین درآمدهای پروژه شالوده تحلیل اقتصادی و تصمیم بر سرمایه گذاری را شکل می‌دهند. از آنجایی که هیچ مدلی یافت نشده است که تنها بر روی هزینه‌های آبکشی فضاهاى زیرزمینی تمرکز داشته باشد. در این تحقیق مدل جدیدی برای محاسبه هزینه‌های آبکشی از فضاهاى زیرزمینی بر اساس میزان آب ورودی ارائه شده است. برای جلوگیری از زیاد شدن حجم مطالب، سعی شده است تا از آوردن مطالب حجیم خودداری شود و تنها به خلاصه‌ای از مباحث

هزینه‌های ورود آب به تونل و فضاهای زیرزمینی پرداخته خواهد شد. برای فرموله کردن هزینه‌های احتمالی ناشی از ورود آب به تونل به شرح زیر عمل خواهد شد:

۱- انجام مطالعات آب شناسی و تخمین میزان آب ورودی به تونل.

۲- جمع آوری و هدایت آب در طول تونل.

۳- انتقال آب به خارج از فضای زیرزمینی.

۴- تصفیه و بهره برداری از آب خارج شده از معدن.

۵- تخمین هزینه های اقدامات آبکشی.

۴-۷-۱- انجام مطالعات آب شناسی و تخمین میزان آب ورودی به تونل

معدن کاری در زیر سطح آب زیرزمینی و یا مناطق کارستی نیازمند آگاهی از مسائل آب‌های زیرزمینی است. قبل از حفاری تونل یا فضاهای زیرزمینی باید یک گروه متخصص مطالعات کافی و لازم را در مورد رژیم‌های آب منطقه انجام دهند. آشنایی با شرایط آب زیرزمینی منطقه باعث پیش بینی خطرات احتمالی تهدید کننده طرح، تخمین میزان دبی آب ورودی به فضای زیرزمینی، جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری از آب خارج شده از معدن، ارائه طرح آبکشی مناسب با مشارکت سایر مهندسين و همچنین منظور کردن هزینه‌های آبکشی در سرمایه گذاری طرح خواهد شد. قبل از طراحی سیستم آبکشی تونل، ابتدا باید حداکثر شدت جریان آبی را که در تونل انتظار می‌رود، برآورد کرد و بدین منظور از روش‌های تحلیلی، تجربی و عددی استفاده می‌شود.

۴-۷-۲- جمع آوری و هدایت آب در طول تونل

سیستم آبکشی در داخل تونل‌ها ممکن است به شیوه باز یا بسته طراحی شود. در سیستم باز، یک کانال روباز در گوشه‌ای از کف تونل احداث می‌شود که با توجه به شیب تونل، آب در اثر نیروی ثقل در داخل آن به جریان می‌افتد. از جمله اشکالات این سیستم آن است که اگر تانکر محتوی سوخت در تونل دچار حادثه شود، این مایع قابل اشتعال در سر تا سر تونل پخش خواهد شد. در سیستم بسته، این اشکال وجود ندارد زیرا آبی که در تونل به جریان می‌افتد، از طریق یک کانال بسته به ایستگاه آبکشی هدایت

می شود. در این گونه موارد، به فواصل ۱۵ تا ۲۰ متر باید مجرای برای ورود آب تونل به داخل این کانال بسته، پیش بینی شود. در مورد تونل‌های هموار، کانال در هر دو طرف تونل احداث می شود اما در مواردی که تونل شیب عرضی نیز داشته باشد، احداث کانال در یک طرف آن کافی است. در مورد سیستم بسته، قطر لوله‌ای که آب را به ایستگاه پمپاژ هدایت می کند نباید از حداقل ۸ اینچ کمتر باشد تا از گیر کردن مواد در لوله، جلوگیری شود [120]. در ضمن به فواصل ۳۰ متری در طول خط لوله، باید شیرهایی برای تخلیه مواد گیر کردنی، پیش بینی شود [۱].

جمع آوری آب در طول تونل می تواند با استفاده از لوله یا غنو به شرح زیر انجام شود:

۴-۷-۲-۱- جمع آوری و هدایت آب توسط لوله قبل از مخزن اصلی

برای آبکشی در این حالت ابتدا حوضچه ای که گنجایش آن متناسب با حجم آب است، احداث کرده و از درون آن و به کمک خط لوله، آب را به مخزن اصلی و یا سطح زمین هدایت می کنند [۴۳].

۴-۷-۲-۲- جمع آوری و هدایت آب در طول تونل به وسیله مجاری باز قبل از مخزن اصلی

تونل‌ها به طرف بیرون یا دهانه چاه شیب دارند و بدین ترتیب، آبی که در داخل آنها جمع می شود، در اثر نیروی جاذبه به طرف دهانه تونل یا به سمت چاه حرکت می کند. برای هدایت آب در داخل تونل، در کف آن و نزدیکی یکی از دیوارها، جوی‌های مخصوص احداث می کنند که در معادن ایران به نام غنو معروف است. در مورد تونل‌های کوچک، جوی مزبور با حفر کف تونل احداث می شود ولی در تونل‌های اصلی، پیش از حفر جوی، کف و دیوارهای آن را قالب بندی کرده و در آن بتن ریزی می کنند. در بعضی موارد نیز در بیرون معدن بلوک‌های بتنی، مطابق مقطع جوی، تهیه کرده و آن‌ها را در داخل غنو نصب می کنند. برای اینکه از تمام فضای تونل استفاده شود. معمولاً روی جوی را به وسیله تخته یا قطعات بتنی می پوشانند و بدین وسیله فضای مفید تونل را افزایش می دهند. در مواردی که شبکه معدن با استفاده از تونل افقی احداث شده باشد، این جوی در بیرون تونل نیز ادامه دارد و بنابراین مخارج آبکشی از معدن منحصر به احداث این جوی‌ها است. از آنجا که جوی‌های موجود در تونل‌ها در

واقع نوعی مجرای بازاند، لذا انتخاب شکل مقطع مناسب، می‌تواند قابلیت آبرسانی آن را افزایش دهد. از آنجا که در بین اشکال هندسی مختلف، با یک سطح ثابت، محیط دایره از همه کمتر است، لذا مقطع نیمدایره از جمله مناسب‌ترین اشکال کانال‌ها است. بایستی توجه داشت که در عمل مسائل دیگری از جمله امکانات حفر و دیوارسازی مجرا را نیز بایستی در نظر گرفت و با توجه به تمام آنها، اقتصادی‌ترین شکل را انتخاب کرد. از آنجا که مقطع نیمدایره حتماً احتیاج به دیوار سازی دارد، لذا در بسیاری موارد از مقطع دوزنقه و یا مستطیل استفاده می‌کنند. گرچه مقطع مربع از نظر شعاع هیدرولیکی مناسب‌تر است ولی مقطع دوزنقه از نقطه نظر حفر و جلوگیری از ریزش دیواره‌ها، در مواردی که مجرا به حالت طبیعی و بدون دیوار سازی نگهداری می‌شود، اقتصادی‌تر است. در مورد مقطع دوزنقه مناسب‌ترین شکل مقطع از نظر شعاع هیدرولیکی، دوزنقه متساوی الساقین است که ساق‌ها و قاعده کوچکش مساوی است. در معادن ایران عموماً مقطع دوزنقه متساوی الساقین برای این منظور به کار می‌رود. عامل اصلی حرکت آب در مجرای باز، شیب کف بستر و به عبارت دیگر مولفه نیروی ثقل در امتداد مجرا است و در ضمن حرکت، نیروی گرانشی نیز در خلاف جهت نیروی ثقل عمل می‌کند و برآیند آن دو، حرکت آب را سبب می‌شود. اگر شیب و مقطع مجرا در تمام طول آن ثابت باشد، سرعت متوسط آب در تمام مقاطع آن ثابت است و جریان به نام جریان یکنواخت خوانده می‌شود و در حالت عکس، یعنی در مواردی که مقطع و شیب مجرا و در نتیجه سرعت آب در قسمت‌های مختلف آن متغیر باشد، به نام جریان غیریکنواخت و یا جریان متغیر موسوم است. جریان آب در مجاری آبکشی معدن عموماً یکنواخت است [۴۳].

۴-۷-۲-۳- مشخصات هندسی مقاطع کانال‌های باز

با توجه به محاسبات هیدرولیکی در طراحی کانال‌های باز، برخی از مشخصات مقاطع که بیشتر مورد لزوم بوده عبارتند از [۱۲۱]:

الف - عمق جریان (y)

در یک محل، فاصله قائم پایین‌ترین نقطه کف کانال تا سطح آزاد آب عمق جریان گفته می‌شود.

ب - سطح مقطع جریان (A)

در یک محل، مساحت مقطع جریان در صفحه عمود بر جهت عمومی جریان سطح مقطع جریان گفته می‌شود.

د - عرض سطح آزاد (T)

به طولی از مقطع جریان گفته می‌شود که با هوای آزاد در تماس باشد.

ه - پیرامون مرطوب (P)

در صورتی که از محیط کلی مقطع جریان عرض سطح آزاد آب کم شود، پیرامون مرطوب به دست می‌آید که محدوده تماس جریان با بستر کانال را نشان می‌دهد.

و - شعاع هیدرولیکی (R)

بنابر تعریف نسبت سطح مقطع جریان به پیرامون مرطوب شعاع هیدرولیکی نامیده می‌شود، یعنی:

$$R = \frac{A}{P} \quad (5-4)$$

ز - عمق هیدرولیکی (D)

نسبت سطح مقطع جریان به عرض سطح آزاد آب عمق هیدرولیکی نامیده می‌شود.

$$D = \frac{A}{T} \quad (6-4)$$

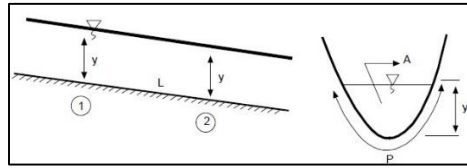
۴-۷-۲-۴ - طراحی مجاری باز برای جمع آوری آب در طول تونل

در بسیاری از مسائل آبکشی معدن مثل آبکشی در تونل‌ها حرکت آب در مجاری باز می‌باشد. برای ساخت غنو از مصالح آماده و بتن استفاده می‌شود که با معلوم بودن سطح مقطع و میزان سیمان به کار رفته هزینه آن محاسبه می‌شود. اگر مطابق شکل ۴-۳۲، جریان یکنواخت در یک کانال منشوری با مقطع دلخواه برقرار باشد، سرعت از رابطه چزی به شرح زیر به دست می‌آید:

$$V = C\sqrt{RS} \quad \text{or} \quad Q = VA = C A\sqrt{RS} \quad (7-4)$$

در این فرمول C ضریب چزی نامیده می‌شود که دارای بعد $\frac{L^{1/2}}{T}$ است و در سیستم بین المللی ISI

واحد $\frac{m^{1/2}}{s}$ را دارد. R شعاع هیدرولیکی $\left(\frac{A}{P}\right)$ و S شیب هیدرولیکی (شیب بستر مجرا) است.



شکل ۴-۳۲- جریان یکنواخت در یک کانال منشوری [۴۳].

برای تعیین ضریب C فرمول‌ها و جداول مختلفی ارائه شده است که مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر است:

جدول ۴-۲۳- روابط تعیین ضریب c [۴۳]

عنوان فرمول	سیستم	رابطه
فرمول گانگیه - کوتر	در سیستم انگلیسی	$C = \frac{41.65 + \frac{0.00281}{S} + \frac{1.811}{n}}{1 + (41.65 + \frac{0.00281}{S}) \frac{n}{\sqrt{R}}}$
	در سیستم متریک	$C = \frac{23 + \frac{0.00155}{S} + \frac{1}{n}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{S}) \frac{n}{\sqrt{R}}}$
فرمول بازن	در سیستم انگلیسی	$C = \frac{157.6}{1.81 + \frac{m}{\sqrt{R}}}$
	در سیستم متریک	$C = \frac{1}{\sqrt{a + \frac{b}{R}}}$
فرمول ماتینگ	در سیستم انگلیسی	$C = \frac{1.486}{n} R^{1/6}$
	در سیستم متریک	$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$
فرمول دارسی	در سیستم انگلیسی	$C = \frac{1}{\sqrt{a + \frac{b}{R}}}$

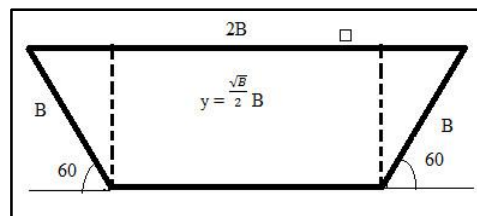
در این فرمول‌ها: n ضریب زبری سطح کانال یا ضریب زبری مانینگ، m ضریب زبری سطح مجرا یا ضریب بازن، a و b ضرایب دارسی است. مقادیر n و m و a و b را می‌توان از جداول مربوط به آن‌ها به دست آورد [۴۳].

۴-۷-۲-۵- روش حل مسائل مجاری باز

مسائل مربوط به مجاری باز به یکی از سه حالت زیر است:

الف - حالتی که مشخصات مجرا معلوم باشد و بخواهیم شدت جریان حداکثر آن را حساب کنیم. این مطلب در مسائل آبکشی معدن هنگامی پیش می‌آید که مجرایابی با مشخصات معینی موجود باشد. به عنوان مثال وقتی که بخواهیم آب تونل‌ها را به وسیله لوله‌های سیمانی به خارج یا به مخزن آب هدایت کنیم. در چنین مواردی بررسی مسئله آسان است زیرا با معلوم بودن تمام مشخصات مجرا، می‌توان با استفاده از فرمول‌های مختلف، حداکثر شدت جریان آب را که از مجرا عبور می‌کند، به دست آورد.

ب - حالتی که بخواهیم مجرا را برای عبور شدت جریان معینی، بدون محدودیت طراحی کنیم. در مورد آبکشی از تونل‌ها، از آنجا که شیب تونل معمولاً ۳ تا ۵ در هزار است لذا در صورتی که از نظر عرض یا عمق مجرا محدودیتی وجود نداشته باشد، می‌توان ابعاد مقطع را به گونه‌ای انتخاب کرد که شعاع هیدرولیکی آن ماکزیمم شود. در مورد مقطع دوزنقه، شعاع هیدرولیکی ایده آل $\frac{y}{2}$ است و این هنگامی حاصل می‌شود که در دوزنقه متساوی الساقین، ساق‌ها مساوی قاعده کوچک و شیب ساق‌ها ۶۰ درجه باشد (مطابق شکل ۴-۳۳). در مورد چنین دوزنقه‌ای می‌توان نوشت:



شکل ۴-۳۳- بهترین مقطع هیدرولیکی دوزنقه.

$$A = \frac{3\sqrt{3}}{4} B^2 \quad , \quad R = \frac{y}{2} = \frac{\sqrt{3}}{4} B \quad (۸-۴)$$

بنابراین طبق رابطه مانینگ:

$$Q = \frac{1.486}{n} \left(\frac{3\sqrt{3}}{4} B^2 \right) \left(\frac{\sqrt{3}}{4} B \right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (۹-۴)$$

در این رابطه نیز S و n و Q معلوم است لذا به آسانی می‌توان B را محاسبه کرد.

ج - حالتی که در طراحی مجرا محدودیتی وجود داشته باشد.

در پاره‌ای موارد لازم است مجرا برای عبور شدت جریان معینی طراحی شود و در عین حال محدودیتی از نظر عمق یا عرض مجرا وجود دارد. به عنوان مثال در طراحی غنو تونل‌ها، معمولاً محدودیتی از نظر عرض وجود دارد زیرا وجود دو رشته راه آهن و بعضی تاسیسات دیگر، مانع از آن است که عرض دلخواه را برای غنو در نظر گرفت. بدیهی است در این موارد، دیگر نمی‌توان شعاع هیدرولیکی را ایده‌آل در نظر گرفت بلکه می‌بایست ابعاد آن را طوری محاسبه کرد که بتواند شدت جریان مورد نظر را از خود عبور دهد. به این نکته بایستی توجه داشت که چون با مشخص نبودن ابعاد، سطح مقطع و شعاع هیدرولیکی هر دو نامعلوم است لذا نمی‌توان مستقیماً این دو را محاسبه کرد بلکه بایستی از روش سعی و خطا کمک گرفت. بسته به اینکه حل مسئله به روش دستی یا با استفاده از کامپیوتر انجام گیرد، دو روش مختلف زیر را می‌توان به کار برد:

۱- روش دستی

یکی از متداول‌ترین روش‌های حل این نوع مسائل آن است که ابتدا یک مقدار فرضی برای R در نظر می‌گیرند و به کمک آن ابعاد سطح مقطع را محاسبه می‌کنند و آنگاه با استفاده از فرمول مانینگ، شدت جریان آبی را که قادر به عبور است به دست می‌آورند. با مقایسه شدت جریانی که به این ترتیب به دست می‌آید با شدت جریان مورد نظر، بار دیگر مقدار جدیدی برای R در نظر می‌گیرند و محاسبات را تکرار می‌کنند. این عمل آنقدر ادامه می‌یابد تا شدت جریان حاصله با شدت جریان فرضی در حد قابل قبولی مطابقت داشته باشد.

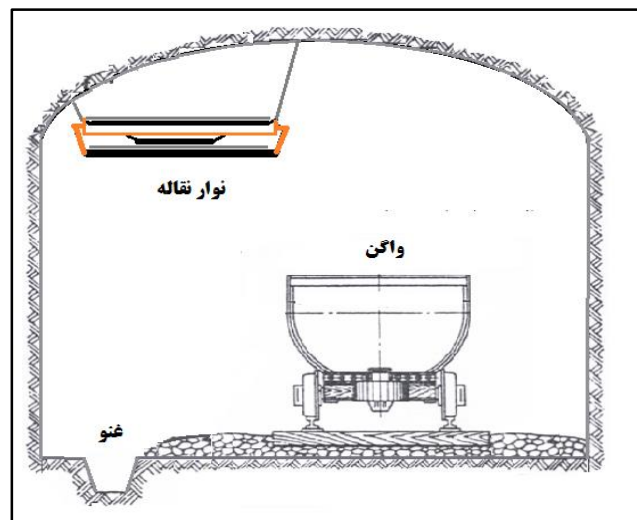
۲- روش کامپیوتری

اساس روش کامپیوتری نیز همان مبانی روش دستی است ولی بسیار سریع‌تر از آن است [۴۳].

۴-۷-۳- انتقال آب به خارج از فضای زیرزمینی

۴-۷-۳-۱- انتقال آب به خارج از فضای زیرزمینی با استفاده از نیروی ثقل

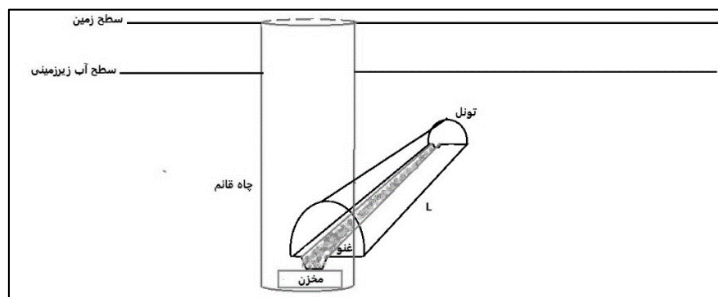
تونل‌ها به طرف بیرون شیب دارند و بدین ترتیب، آبی که در داخل آن‌ها جمع می‌شود، در اثر نیروی جاذبه به طرف دهانه تونل یا به سمت چاه حرکت می‌کند. در این حالت هزینه‌ها شامل هزینه لوله یا ساخت غنو در داخل و خارج تونل می‌باشد و هزینه‌های مربوط به پمپ انتقال آب صفر می‌باشد.



شکل ۴-۳۴- انتقال آب به خارج از فضای زیرزمینی توسط غنو.

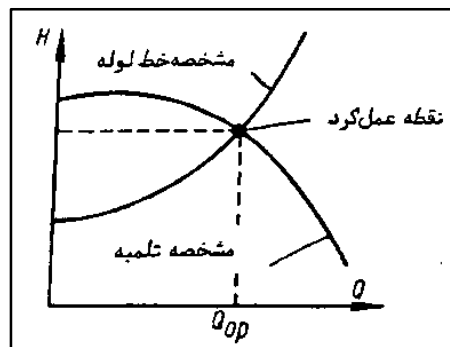
۴-۷-۳-۲- انتقال آب به خارج از فضای زیرزمینی به وسیله پمپ

در حالت کلی که معدن به وسیله چاه یا تونل اصلی گشایش یافته است، آب طبقات مختلف به وسیله جوی به مخزن هر طبقه هدایت و از آنجا یا به مخزن فرعی طبقه و یا مخزن کلی منتقل شده و به وسیله پمپ به بیرون انتقال داده می‌شود [۴۳].



شکل ۴-۳۵- انتقال آب به خارج از فضای زیرزمینی به وسیله پمپ.

برای آبکشی در معدن بایستی مخزن آبی در انتهای چاه احداث کرد و آنگاه با نصب خط لوله و تلمبه آن را به بیرون معدن فرستاد. اولین قدم در محاسبات لوله کشی تعیین شدت جریان آبی است که بایستی از لوله‌ها عبور کند. پس از تعیین شدت جریان، بایستی لوله مناسب را تعیین کرد و آنگاه افت حاصله در خط لوله را محاسبه و در مرحله نهایی، تلمبه مناسب را انتخاب کرد. آخرین مرحله از محاسبات لوله کشی انتخاب تلمبه مناسب خط لوله است. پس از اینکه افت کلی خط لوله محاسبه شد، از حاصل جمع آن با اختلاف ارتفاع بین دو سر خط لوله و ارتفاع نظیر سرعت می‌توان ارتفاع مفیدی را که تلمبه بایستی تولید کند به دست آورد.



شکل ۴-۳۶- منحنی مشخصه تلمبه و خط لوله.

از آنجا که ممکن است در مدت زمان استفاده از خط لوله، لازم شود شدت جریان‌های مختلفی از آن عبور کند، بهتر است که منحنی مشخصه خط لوله را رسم و در همان دستگاه مختصات، منحنی مشخصه تلمبه را نیز رسم کرد. در این صورت فصل مشترک این دو منحنی، نقطه عملکرد خط لوله را به دست خواهد داد.

متداول‌ترین پمپ‌ها، پمپ‌های گریز از مرکز می‌باشد. در پمپ شناور که بسیار پر کاربرد می‌باشد، مجموع موتور و پمپ در داخل آب قرار می‌گیرد. به این ترتیب عملاً طول یا ارتفاع لوله مکش بسیار کاهش می‌یابد و به عبارتی حذف می‌گردد. در نتیجه انرژی مکش آب بسیار ناچیز شده و با افزایش انرژی رانش این پمپ می‌تواند آب را تا مسافت‌های زیادی انتقال دهد.

برای هدایت آب از مخزن به سطح زمین، معمولاً از تلمبه‌های گریز از مرکز استفاده می‌کنند. در حالت کلی، ارتفاعی که بایستی به وسیله تلمبه تامین شود، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$H = h_s + h_f + h_v \quad (10-4)$$

که در آن H ارتفاع نظیر انرژی کل که بایستی به وسیله تلمبه تامین شود، h_s اختلاف ارتفاع بین مخزن و سطح زمین، h_f ارتفاع نظیر افت (اصطکاکی و موضعی) در طول خط لوله و h_v ارتفاع نظیر سرعت خروجی آب است. بدین ترتیب با در دست داشتن ارتفاع نظیر انرژی کل و شدت جریان آبکشی، می‌توان قدرت لازم را محاسبه کرد.

توانی که موتور تلمبه بایستی روی محور خود تولید کند، از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$N = \frac{\gamma QH}{\eta} \quad (11-4)$$

در این رابطه γ وزن مخصوص آب، Q شدت جریان و η راندمان تلمبه است و اگر وزن مخصوص بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، شدت جریان بر حسب متر مکعب در ثانیه و ارتفاع کلی بر حسب متر باشد، توان بر حسب کیلوگرم متر در ثانیه به دست می‌آید و بنابراین توان بر حسب اسب بخار خواهد شد:

$$N = \frac{\gamma QH}{75 \eta} \quad (12-4)$$

از آنجا که هر اسب بخار $735/7$ وات است لذا توان روی محور موتور بر حسب کیلو وات خواهد شد:

$$N = \frac{0.7357\gamma QH}{75\eta} \quad (13-4)$$

امروزه کارخانه‌های سازنده تلمبه، منحنی‌هایی را در دسترس قرار می‌دهند که انتخاب تلمبه مورد نظر را بسیار آسان می‌کند. در این منحنی‌ها با تعیین نقطه یا مختصات H و Q مورد نظر در دستگاه مختصاتی که کارخانه سازنده رسم کرده است، نقطه در منطقه‌ای واقع می‌شود که معمولاً با رنگ ویژه‌ای مشخص شده و در این منطقه مشخصات تلمبه مناسب نوشته شده است [۴۳]. همچنین مصرف انرژی در فرآیند آبکشی معدن را می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه کرد [18]:

$$E_{ps} = M \times g \times H \quad (14-4)$$

که در آن:

E_{ps} : انرژی مصرفی روزانه پمپ برای انتقال آب (Joule).

M : مقدار آب برای پمپاژ (kg).

g : $9/81 (m/s^2)$.

H : عمق معدن (m).

۴-۷-۳-۳- ساخت مخزن جمع آوری آب

برای پمپاژ آب از داخل معدن به بیرون، اغلب یک مخزن جمع آوری آب در پایین‌ترین نقطه معدن ایجاد شده و پس از جمع آوری آب‌های ورودی به معدن در داخل این مخزن، با نصب خط لوله و انتخاب پمپ مناسب، آب به بیرون از معدن انتقال داده می‌شود. ظرفیت مخزن بستگی به مقدار آب موجود در معدن، مدت زمان کار و تعداد تلمبه‌ها دارد، معمولاً تلمبه در تمام شبانه روز کار نمی‌کند بلکه در فواصل زمانی معینی به کار می‌افتد. بدیهی است در صورتی که میزان آب معدن خیلی زیاد باشد، تلمبه‌ها بایستی دائماً کار کنند و در این صورت، تلمبه خانه بایستی دارای یک یا چند تلمبه یدکی باشد. به هر حال ظرفیت مخزن حتی المقدور بایستی به اندازه حجم آب یک شبانه روز باشد تا در صورتی که در تلمبه‌ها یا خط لوله اشکالی پیش آید، توقف آبکشی مشکلاتی به بار نیاورد. از آنجا که ممکن است به علت گل آلود بودن آب، حجم قابل توجهی از مخزن از گل پر شود بهتر است مخزن به نحوی ساخته شود که بتوان قسمت‌هایی از آن را از ورود آب معدن مصون نگه داشت و بدین ترتیب آن را لایروبی کرد. اگر مقدار آب معدن زیاد باشد، بایستی چندین تلمبه در آن واحد با هم کار کنند و در این موارد، تعداد و نحوه کار تلمبه‌ها نیز از عوامل اصلی حجم مخزن است. اگر فقط یک تلمبه مسئولیت آبکشی را بر عهده داشته باشد، حداقل مخزن آب تابع مدت زمان کار تلمبه و به عبارت دیگر، تعداد دفعات خاموش و روشن شدن تلمبه است. در این موارد که تلمبه به طور دائم (و نه فقط در طول شیفت معین) کار می‌کند مناسب آن است که تعداد دفعات به کار افتادن در هر ساعت برای ۱۰ تا ۱۵ دفعه تنظیم شود.

بدین ترتیب اگر تعداد دفعات به کار افتادن آن ۱۰ نوبت باشد، این امر بدان معنی است که تلمبه هر ۶ دقیقه یک بار به کار می افتد.

در مورد مخزنی که در آن فقط یک تلمبه نصب شده است بین حداقل حجم مخزن لازم یعنی حجم لازم بین حداقل و حداکثر سطح آب در مخزن (V)، شدت جریان آب ورودی به مخزن (Q_{in})، شدت جریان تلمبه (Q) و مدت زمان بین دو شروع متوالی تلمبه (T) رابطه زیر برقرار است:

$$T = T_s + T_p = \frac{V}{Q_{in}} + \frac{V}{Q - Q_{in}} \quad (15-4)$$

در این رابطه T_s زمان توقف تلمبه و T_p زمان پمپاژ است. بدین ترتیب با در دست داشتن زمان تناوب کار تلمبه (که معمولاً ۶ تا ۴ دقیقه در نظر گرفته می شود) و شدت جریان ورودی و شدت جریان تلمبه، می توان حداقل حجم مخزن را به دست آورد:

$$V = \frac{T(Q \cdot Q_{in} - Q_{in}^2)}{Q} \quad (16-4)$$

اما جهت طراحی صحیح ابعاد مخزن باید ملاحظات اقتصادی را نیز منظور نمود و این در حالی محقق می شود که تعداد دفعات روشن و خاموش شدن پمپ حداقل شود. به عبارت دیگر حجم مفید مخزن نسبت به دبی آب ورودی به مخزن در حالت ماکزیمم قرار گیرد. بنابراین از معادله نسبت به شدت جریان آب ورودی مشتق گرفته و مساوی صفر قرار داده می شود [۴۳].

$$\frac{dV}{dQ_{in}} = \frac{T}{Q} (Q - 2Q_{in}) = 0 \rightarrow Q = 2Q_{in} \quad (17-4)$$

با جایگذاری Q در رابطه حداقل حجم مخزن، حجم حداکثر بدست می آید:

$$V = \frac{T(2Q_{in} \cdot Q_{in} - Q_{in}^2)}{2Q_{in}} = \frac{TQ_{in}}{2} \quad (18-4)$$

با توجه به ضریب اطمینان، حجم نهایی را می توان به صورت زیر نوشت:

$$V = \frac{TQ_{in}}{2} \times SF \quad (19-4)$$

۴-۷-۴- تصفیه و بهره برداری از آب خارج شده از معدن

آبی که از معدن خارج می شود عموماً اسیدی است و این امر نه تنها سبب خوردگی تلمبه و خط لوله می شود، بلکه ریختن مستقیم آن به بیرون، محیط زیست را آلوده می کند. گرچه آلوده بودن آب های

معدن عمدتاً در مورد معادن زغال صادق است، اما هر کجا که با ماده معدنی، مواد سولفور، به ویژه سولفورهای آهن دار همراه باشند آب معدن حالت اسیدی پیدا می‌کند. گرچه هنوز راه حل قطعی برای این مسئله یافت نشده است ولی با به کار بستن بعضی تمهیدات می‌توان لاقطل اثر آن را کاهش داد و به حداقل ممکنه رسانید [۴۳].

۴-۷-۵- تخمین هزینه‌های اقدامات آبکشی

در طی برنامه‌ریزی و طراحی معدن، هزینه آبکشی معمولاً به عنوان هزینه سرمایه گذاری در نظر گرفته می‌شود. با این وجود در طول بهره‌برداری، هزینه آبکشی می‌تواند به عنوان هزینه عملیاتی باشد. آبکشی معدن یا به عبارت دیگر هزینه آبکشی از مرحله اکتشاف وجود دارد. سیستم آبکشی معادن زیرزمینی به انواع مختلفی از پارامترها مانند سطح آب زیرزمینی، ضریب انتقال و ذخیره سازی، پتانسیل فصلی و ... بستگی دارد. همان طور که اشاره شد، هزینه‌های آبکشی شامل هزینه‌های سرمایه‌ای و جاری سالیانه می‌باشد. هزینه‌های جاری سالیانه شامل هزینه‌های نیروی انسانی، تغذیه، تجهیزات و ابزار، انرژی مصرفی، تعمیر و نگهداری و متفرقه می‌باشد. برای فرموله کردن هزینه‌های آبکشی از معادن زیرزمینی می‌توان طبق مراحل زیر عمل نمود.

۴-۷-۵-۱- هزینه مطالعات آب‌های زیرزمینی و طراحی سیستم آبکشی

قبل از اینکه هزینه‌های سیستم آبکشی برآورد شود بایستی تمام اسناد پروژه بررسی و به طرح آبکشی توجه خاصی شود، به عنوان مثال گزارش‌های ژئوتکنیکی مهم می‌باشند. به این ترتیب هزینه‌های مربوط به مطالعات و طراحی سیستم آبکشی را می‌توان به صورت رابطه (۴-۲۰) نوشت:

$$C_S = C_{Office Study} + C_{Field And Laboratory Study} + C_{dewatering system design} \quad (۴-۲۰)$$

که در آن:

C_S : هزینه‌های مطالعه آب‌های زیرزمینی و طراحی سیستم آبکشی (Rial)

$C_{Office Study}$: هزینه‌های مطالعات دفتری (Rial)

$C_{Field\ And\ Laboratory\ Study}$: هزینه مطالعات صحرایی و آزمایشگاه (Rial)

$C_{dewatering\ system\ design}$: هزینه طراحی سیستم آبکشی (Rial)

۴-۷-۵-۲- هزینه جمع آوری و هدایت آب توسط لوله قبل از مخزن اصلی

در این حالت اگر هدایت آب توسط نیروی ثقل انجام شود فقط هزینه لوله کشی محاسبه خواهد شد و در صورت استفاده از پمپ، هزینه‌های مربوط به پمپ نیز اضافه خواهد شد. بنابراین هزینه سرمایه‌ای انتقال آب با لوله را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$C_{water\ collecting\ by\ pipe} = C_{pump\ and\ pipe} + C_{sub-sump} \quad (۲۱-۴)$$

که در این رابطه:

$C_{water\ collecting\ by\ pipe}$: هزینه‌های جمع آوری آب توسط لوله (Rial)

$C_{pump\ and\ pipe}$: هزینه تجهیزات شامل پمپ و لوله و ... (Rial)

$C_{sub-sump}$: هزینه‌های ساخت مخزن فرعی (Rial)

از طرفی همان‌طور که شرح داده شد، با توجه به آب ورودی به مخزن، ضریب اطمینان و اینکه حجم حفاری بیشتر از حجم غنو می‌باشد، حجم نهایی مخزن از رابطه ۴-۱۹ به دست می‌آید:

$$V_{sump} = \frac{TQ_{in}}{2} \times SF \quad (۱۹-۴)$$

که در آن:

V_{sump} : حجم مخزن (m^3)

T: مدت زمان بین دو شروع متوالی تلمبه (s)

Q_{in} : شدت جریان آب ورودی به مخزن (m^3/s)

SF: ضریب اطمینان

با در نظر گرفتن نسبت حجم حفاری به حجم غنو (α)، حجم بتن استفاده شده در مخزن به صورت زیر حساب می‌شود:

$$V_{cement} = V_{drilling} - V_{sump} \quad , \quad V_{drilling} = \alpha V_{sump} \quad (22-4)$$

$$V_{cement} = \alpha \left(\frac{TQ_{in}}{2} \times SF \right) - \left(\frac{TQ_{in}}{2} \times SF \right) = (\alpha - 1) \left(\frac{TQ_{in}}{2} \times SF \right) \quad (23-4)$$

که در این روابط:

$$V_{cement} = \text{حجم بتن استفاده شده در ساخت مخزن (m}^3\text{)}$$

$$C_{cement} = \text{قیمت واحد سیمان مصرفی (} \frac{\text{Rial}}{\text{m}^3} \text{)}$$

$$C_{drilling} = \text{هزینه حفاری (} \frac{\text{Rial}}{\text{m}^3} \text{)}$$

$$\alpha = \text{نسبت حجم حفاری به حجم غنو}$$

بنابراین برای به دست آوردن هزینه حفاری و سیمان مصرفی مخزن فرعی اینگونه می توان نوشت:

$$C_{sub-sump} = ((\alpha - 1) \left(\frac{TQ_{in}}{2} \times SF \right) (m^3) \times C_{cement} \left(\frac{\text{Rial}}{\text{m}^3} \right)) + (\alpha \left(\frac{TQ_{in}}{2} \times SF \right) \times C_{drilling} \left(\frac{\text{Rial}}{\text{m}^3} \right)) \quad (24-4)$$

وسیله اصلی در آبکشی معادن پمپ می باشد. در اکثر معادن پمپ های مصرفی از نوع گریز از مرکز می باشند اما در آبکشی فرعی و جمع آوری و هدایت آب به مخازن اصلی از سایر انواع پمپ ها مانند پمپ های دوار، رفت و برگشتی، مونو (مناسب برای آبکشی موضعی در معادن) و پمپ های محوری نیز استفاده می شود. قیمت پمپ ها تابعی از آبدهی Q_{pump} (متر مکعب بر ساعت)، ارتفاع آبکشی H (متر) و توان پمپ N (کیلووات) می باشد. بنابراین با توجه به اینکه هر کدام از این پمپ ها دارای تیپ های متنوعی می باشند، نوشتن یک رابطه کلی بر اساس دبی، ارتفاع و توان برای محاسبه قیمت آن ممکن نبوده و بنابراین با در دست داشتن دبی آب فضای زیرزمینی، نوع پمپ انتخاب شده و در رابطه هزینه سرمایه ای قرار داده می شود. با توجه به اینکه قیمت پمپ (p) به صورت تابع $P(Q,H,N)$ می باشد، کل هزینه سرمایه ای جمع آوری آب توسط لوله قبل از مخزن اصلی به شرح زیر خواهد بود:

$$C_{water\ collecting\ by\ pipe} = (L_{pipe}(m) \times C_{pipe} (\frac{Rial}{m})) + P_{pump}(Q,H,N) \times n \quad (۲۵-۴)$$

که در این رابطه:

Q_{pump} : شدت جریان آب در پمپ (m^3/h)

L_{pipe} : طول لوله (m)

C_{pipe} : قیمت واحد لوله ($\frac{Rial}{m}$)

P_{pump} : قیمت پمپ که تابعی از آبدهی، ارتفاع آبکشی و توان پمپ می باشد (Rial)

n: تعداد مخزن فرعی

۴-۷-۵-۳- هزینه های انتقال آب به خارج از فضای زیرزمینی با استفاده از غنو

برای ساخت غنو از مصالح آماده و بتن استفاده می شود. برای تعیین سطح مقطع غنو جهت جمع آوری و هدایت آب با معلوم بودن شدت جریان آب روابطی وجود دارد که یکی از آنها رابطه مانینگ می باشد. بنابراین با معلوم بودن حجم یک متر از غنو و ضرب آن در طول تونل، حجم سیمان مصرفی بدست می آید. جهت تخمین هزینه ساخت غنو به ترتیب زیر عمل می شود:

الف- محاسبه سطح مقطع غنو

همان گونه که در بخش قبل شرح داده شد، برای محاسبه سطح مقطع بهترین مقطع هیدرولیکی که در معادن ایران عموماً دوزنقه متساوی الساقین (مشاهده شکل ۴-۳۹) می باشد، طبق رابطه مانینگ می توان نوشت:

$$A = \frac{3\sqrt{3}}{4} B^2, \quad R = \frac{y}{2} = \frac{\sqrt{3}}{4} \quad (۸-۴)$$

$$Q = \frac{1.486}{n} (\frac{3\sqrt{3}}{4} B^2) (\frac{\sqrt{3}}{4} B)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (۹-۴)$$

در این رابطه S و n و Q معلوم است لذا به آسانی می توان B را محاسبه کرد. با محاسبه B، سطح مقطع غنو بدست می آید.

ب- محاسبه حجم بتن مورد استفاده در غنو

در مورد تونل‌های کوچک، غنو با حفر کف تونل احداث می‌شود ولی در مورد تونل‌های اصلی پس از حفر جوی، باید کف و دیواره‌های آن را قالب بندی و در آن بتن ریزی کرد.

با توجه به شدت جریان آب و تعیین سطح مقطع، حجم یک متر از غنو را محاسبه کرده و اختلاف آن با حجم حفاری همان حجم سیمان مصرفی خواهد بود که با ضرب آن در طول تونل میزان سیمان مصرفی برای ساخت غنو بدست می‌آید. بر اساس تعریف بالا، حجم سیمان مصرفی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V_{drilling} = \beta V_{channel} \quad (۲۶-۴)$$

$$V_{cement} = V_{drilling} - V_{channel} \quad (۲۷-۴)$$

$$V_{cement} = (\beta - 1) \times V_{channel} \quad (۲۸-۴)$$

که در این روابط:

$V_{channel}$: حجم یک متر غنو (m^3)

$V_{drilling}$: حجم حفاری واحد غنو (m^3)

β : نسبت حجم حفاری غنو به حجم غنو (حجم آب)

V_{cement} : حجم سیمان مصرفی یک متر غنو (m^3)

بنابراین با معلوم بودن حجم حفاری و سیمان مصرفی، معادله هزینه جمع آوری و انتقال آب توسط غنو به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$C_{water\ collecting\ by\ channel} = (\beta - 1) \times V_{channel} (m^3) \times C_{cement} (Rial/m^3) + (\beta \cdot V_{channel} (m^3) \times C_{drilling} (Rial/m^3)) \quad (۲۹-۴)$$

که در آن:

$C_{water\ collecting\ by\ channel}$: هزینه‌های جمع آوری آب توسط غنو (Rial)

$C_{Construction}$: هزینه‌های ساخت غنو (Rial)

C_{cement} : قیمت واحد سیمان ($Rial/m^3$)

$C_{drilling}$: هزینه واحد حفاری غنو (Rial/m^3)

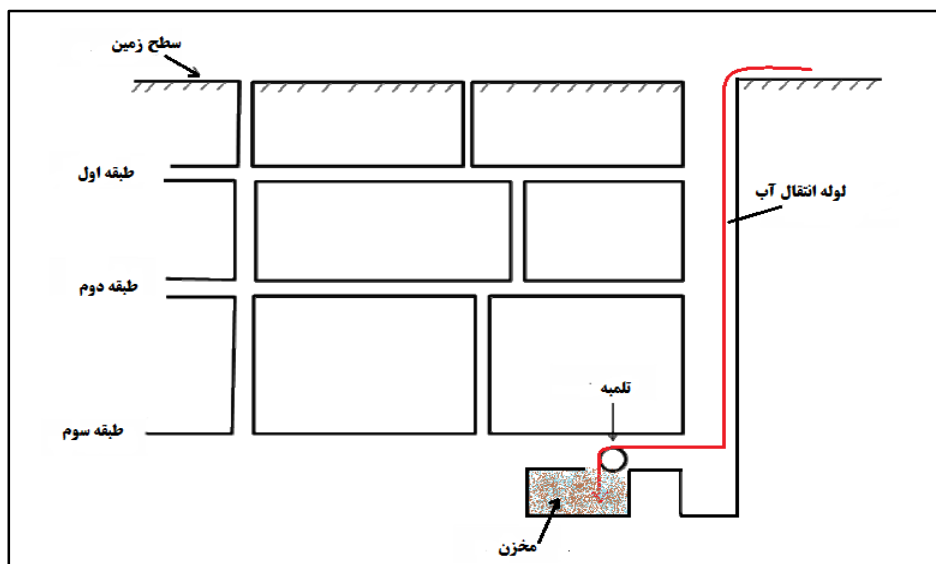
۴-۷-۵-۴- هزینه‌های انتقال آب به خارج از فضای زیرزمینی با استفاده از پمپ

از آنجا که معادن بزرگ چندین طبقه دارند و عموماً به وسیله چاه یا تونل مورب گشایش یافته‌اند لذا بسته به مورد باید به یکی از روش‌های زیر عمل کرد:

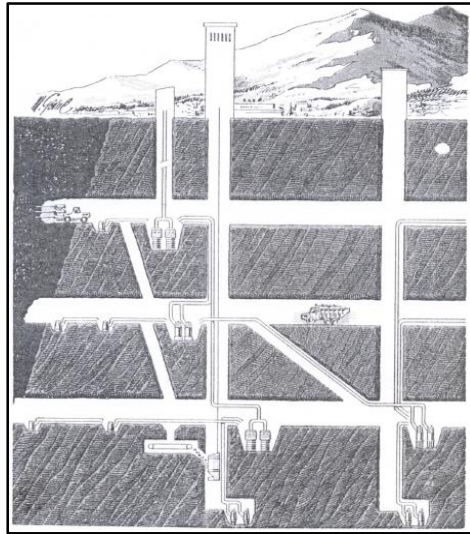
الف - برای هر طبقه از معدن یک مخزن آب جداگانه احداث و با نصب تلمبه در آن آب را به بیرون هدایت کرد.

ب - در پایین‌ترین طبقه معدن، یک مخزن اصلی احداث و با نصب یک تلمبه مرکزی آب را به خارج فرستاد. در این صورت، آب هر یک از طبقات به وسیله غنو تا مخزن آب در حوالی چاه هدایت و از آنجا به وسیله لوله و بدون نیاز به تلمبه، به مخزن اصلی منتقل می‌شود (مشاهده شکل ۴-۳۷).

ج - در هر طبقه یک مخزن آب احداث و آب هر طبقه به وسیله تلمبه به طبقه بالاتر هدایت می‌شود. در این گزینه، مخزن اصلی در بالاترین طبقه احداث می‌شود و تلمبه اصلی، آب را از این مخزن به بیرون معدن انتقال می‌دهد (مشاهده شکل ۴-۳۸).



شکل ۴-۳۷- سیستم آبکشی با احداث یک مخزن اصلی در پایین‌ترین طبقه معدن.



شکل ۴-۳۸- سیستم آبکشی با احداث مخزن و تلمبه خانه در هر یک از طبقات و انتقال به طبقه بالاتر.

انتخاب سیستم آبکشی به میزان آب، ارتفاع طبقات و امکانات موجود بستگی دارد. هر یک از روش‌های یاد شده مزایا و معایبی دارند. توصیه می‌شود که در مورد هر معدن، هر یک از گزینه‌های آبکشی بررسی و هزینه آنها محاسبه و از مقایسه آنها با یکدیگر و نیز با توجه به امکانات موجود، گزینه مناسب انتخاب شود. اگر چه احداث مخزن، هزینه‌هایی را به سیستم آبکشی تحمیل می‌کند اما وجود مخزن، این حسن را دارد که اگر برای مدتی شدت جریان آب‌های داخل معدن زیاد شود و از حد قدرت تخلیه تلمبه تجاوز کند، اشکالی پیش نمی‌آید زیرا آب اضافی در مخزن ذخیره می‌شود. از سوی دیگر، اگر به عللی تلمبه برای مدتی از کار بیفتد نیز اشکالی در آبکشی معدن پیش نخواهد آمد [۱۲۲].

لذا هزینه‌های مربوط به این قسمت شامل هزینه ساخت مخزن برای جمع آوری آب و همچنین تلمبه خانه و تجهیزات مربوط به آن خواهد بود. در این حالت دو حوضچه یا مخزن یکی برای ته نشست رسوبات و دیگری برای تجمع آب می‌باشد که سرریز آب حوضچه ته نشینی وارد آن می‌شود. بنابراین هزینه این حالت شامل دو بخش است:

الف - هزینه ساخت مخازن اصلی جمع آوری آب

در بخش قبل نحوه تعیین حجم مفید مخزن شرح داده شد، لذا هزینه ساخت مخزن عبارت است از:

$$C_{sump} = C_{sump\ construction} \quad (۲۴-۴)$$

$$C_{sump} = ((\alpha - 1) \left(\frac{TQ_{in}}{2} \times SF\right)(m^3) \times C_{cement}\left(\frac{Rial}{m^3}\right)) + (\alpha \left(\frac{TQ_{in}}{2} \times SF\right) \times C_{drilling}\left(\frac{Rial}{m^3}\right))$$

که روابط آن قبلاً توضیح داده شده است.

ب- هزینه‌های مربوط به پمپ

این بخش شامل هزینه‌های تهیه پمپ و تجهیزات مربوط به آن می‌باشد. قیمت پمپ تابعی از آبدهی، ارتفاع آبکشی و توان پمپ می‌باشد.

بنابراین طبق بند الف و ب، هزینه آبکشی با پمپ:

$$C_{pump\ dewatering} = ((\alpha - 1) \left(\frac{TQ_{in}}{2} \times SF\right)(m^3) \times C_{cement}\left(\frac{Rial}{m^3}\right)) + (\alpha \left(\frac{TQ_{in}}{2} \times SF\right) \times C_{drilling}\left(\frac{Rial}{m^3}\right)) + P_{pump}(Q,H,N) \times n \quad (۲۵-۴)$$

۴-۷-۵-۵- هزینه‌های دفع سالم آب از فضاهای زیرزمینی

امروزه یکی از موضوعات مهم در مطالعات فنی و اقتصادی پروژه‌های معدنی، برآورد اثرات زیست محیطی این گونه پروژه‌ها است. هزینه‌های مطالعاتی و همچنین هزینه‌های کنترل یا پیشگیری از عوامل آلاینده در طول عمر معدن و حتی پس از پایان یافتن عملیات معدن کاری یکی از اقلام مهم هزینه‌های معدنی است که بر روی قیمت تمام شده ماده معدنی تاثیرگذار است. ضمن ارزیابی زیست محیطی پروژه‌های معدنی باید روش تعیین، پیش بینی و تفسیر اثرات احتمالی پروژه بر محیط زیست و راه‌های کاهش اثرات سوء بر محیط زیست شناخته شود. هزینه‌های دفع سالم آب از فضای زیرزمینی به محیط زیست، می‌تواند شامل آیتم‌های زیر باشد:

رابطه (۴-۳۰):

$$C_{water\ treatment} = C_{Environmental\ Studies} + C_{Prevent\ contamination} + C_{neutralize\ acidic\ water}$$

که در آن:

$C_{water\ treatment}$ = هزینه‌های دفع سالم آب از فضای زیرزمینی (Rial)

$C_{Environmental\ Studies}$ = هزینه‌های مربوط به مطالعات زیست محیطی (Rial)

$C_{Prevent\ contamination}$ = هزینه‌های مربوط به جلوگیری از آلوده شدن آب (Rial)

$C_{neutralize\ acidic\ water}$ = هزینه‌های خنثی‌سازی آب اسیدی (Rial)

۴-۷-۵-۶- جمع بندی هزینه آبکشی

در حالت کلی هزینه‌های آبکشی شامل هزینه‌های سرمایه‌ای و هزینه‌های جاری سالیانه می‌باشند.

الف - هزینه‌های سرمایه‌ای

$$C_{dewatering} = [C_S] + [C_{water\ collecting\ by\ pipe}] + [C_{water\ collecting\ by\ channel}]$$

$$+ [C_{pump\ dewatering}] + [C_{water\ treatment}]$$

$$C_{dewatering} = [C_{Office\ Study} + C_{Field\ And\ Laboratory\ Study} + C_{dewatering\ system\ design}]$$

$$+ [(L_{pipe}(m) \times C_{pipe} (\frac{Rial}{m})) + P_{pump}(Q,H,N) + (C_{pump} \times n)] + [(\beta - 1) \times V_{channel}$$

$$(m^3) \times C_{cement} (\frac{Rial}{m^3}) + (\beta \cdot V_{channel}(m^3) \times C_{drilling} (\frac{Rial}{m^3})] + [(\alpha - 1)$$

$$(\frac{TQ_{in}}{2} \times SF) (m^3) \times C_{cement} (\frac{Rial}{m^3}) + (\alpha (\frac{TQ_{in}}{2} \times SF) \times C_{drilling} (\frac{Rial}{m^3})) + P_{pump}(Q,H,N)$$

$$\times (C_{pump} \times n)]$$

که در آن:

$C_{dewatering}$ = هزینه‌های سرمایه‌ای آبکشی (Rial)

پارامترها قبلاً توضیح داده شده‌اند.

ب- هزینه‌های جاری سالیانه

هزینه‌های جاری سالیانه شامل هزینه‌های نیروی انسانی، تغذیه، تجهیزات و ابزار، انرژی مصرفی، تعمیر و نگهداری و هزینه‌های متفرقه می‌باشد.

۴-۷-۶- تخمین هزینه‌های آبکشی تونل شماره یک معدن سرب و روی انگوران

از آنجایی که تونل یک معدن سرب و روی انگوران در دامنه کوه حفر شده و آب ورودی به آن به صورت جریان ثقیلی به خارج از تونل هدایت می‌شود. بنابراین مخارج آبکشی از معدن منحصر به احداث غنو می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه قبل از حفر تونل هیچ گونه مطالعات آب شناسی انجام نشده است. بنابراین هزینه مربوط به این مورد صفر خواهد بود. لازم به ذکر است در معدن زیرزمینی سرب و روی انگوران به دلیل وجود آب‌های زیرزمینی دائمی، با مدیریت آب داخل حفريات، نیازهای مصرفی داخل معدن تامین می‌شود. بنابراین به عنوان یک منبع طبیعی تولید آب بوده و قیمت آن از هزینه‌های آبکشی معدن کسر خواهد شد.

به طور کلی هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی مربوط به آبکشی معدن سرب و روی انگوران و همچنین قیمت آب مورد استفاده در معدن را می‌توان به صورت زیر نوشت:

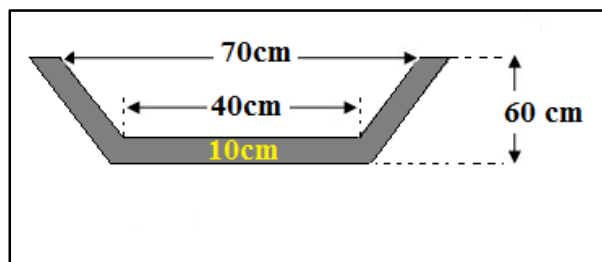
الف- هزینه‌های سرمایه‌ای

موارد هزینه‌های سرمایه‌ای شامل ساخت غنو می‌باشد که در زیر آورده شده است.

$$C_{channel} = C_{channel\ Construction}$$

$$C_{channel} = (\beta - 1) \times V_{channel} (m^3) \times C_{cement} (Rial/m^3) + (\beta \cdot V_{channel}(m^3) \times C_{drilling} (Rial/m^3))$$

مشخصات غنو انتقال آب تونل شماره یک معدن سرب و روی انگوران در شکل ۴-۳۹ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۳۹- مشخصات غنو انتقال آب تونل یک معدن انگوران.

بنابراین با معلوم بودن ابعاد غنو، سطح مقطع (S) و حجم یک متر از غنو ($V_{channel}$) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$S = \frac{1}{2} (0.7 + 0.4) \times 0.5 = 0.275 \text{ m}^2$$

$$V_{channel} = 0.275 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} = 0.275 \text{ m}^3$$

از آنجایی که نسبت حجم حفاری به حجم غنو (β) معلوم است، می‌توان حجم حفاری را طبق رابطه زیر به دست آورد:

$$V_{drilling} = \beta V_{channel} = 1.64 \times 0.275 = 0.45 \text{ m}^3$$

در واقع حجم بیرونی غنو همان حجم حفاری می‌باشد. بنابراین کل حجم سیمان مصرفی برابر اختلاف حجم بیرونی و داخلی غنو در ۱۱۹۰ متر طول تونل خواهد بود. لازم به ذکر است این غنو به مترهاژ ۲۰ متر در بیرون تونل نیز ادامه دارد. بنابراین:

$$V_{total\ cement} = V_{total\ drilling} - V_{total\ channel} = 544.5 - 332.75 = 211.75 \text{ m}^3$$

بتن مورد استفاده در ساخت غنو به جهت مقاومت در برابر فشار آب و داشتن استحکام کافی، بتن با عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و مقاومت فشاری ۳۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع می‌باشد. قیمت این نوع بتن ۲,۵۱۰,۰۰۰ ریال بر مترمکعب می‌باشد. بنابراین هزینه سیمان مصرفی در غنو تونل به شرح زیر می‌باشد:

$$C_{total\ cement} = 211.75 \text{ m}^3 \times 2,510,000 \text{ (Rial/m}^3\text{)} = 531,492,500 \text{ Rial}$$

غنو با حفر کف تونل احداث شده و سپس کف و دیواره‌های آن قالب بندی و در آن بتن ریزی می‌شود. برای از طرفی هزینه پیشروی یک متر تونل با سطح مقطع ۱۰ متر مربع برابر ۴۴ میلیون ریال می‌باشد.

از طرفی طبق فهرست بها، عملیات حفاری مربوط به ورودی و خروجی تونل‌ها و گالری‌ها که در فضای روباز انجام می‌شود جزء عملیات خاکی به شمار آمده و بهای آنها طبق بهای عملیات خاکی پرداخت می‌شود. بنابراین هزینه حفر غنو به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$C_{total\ channel} = (0.45\ m^2 \times 1190\ m \times 2,250,000\ (Rial/m^3)) + (0.45\ m^2 \times 20\ m \times 364,000\ (Rial/m^3)) = 1,208,151,000\ Rial$$

حال با در دست داشتن هزینه حفاری و بتن ریزی غنو، هزینه سرمایه‌ای کل انتقال آب به خارج از تونل با استفاده از غنو برابر است با:

$$C_{channel} = C_{total\ cement} + C_{total\ channel} = 531,492,500 + 1,208,151,000 = 1,739,643,500\ Rial$$

ب - هزینه‌های جاری سالیانه

هزینه‌های جاری سالیانه هدایت آب در طول تونل شامل هزینه‌های پاکسازی رسوبات داخل غنو (لایروبی)، تعمیرات و نگهداری و ... می‌باشد. هزینه‌های نیروی انسانی مورد نیاز برای لایروبی غنو و خوراک سالانه در جدول‌های زیر محاسبه شده است.

جدول ۴-۲۴- محاسبه حقوق پایه کارگران جهت لایروبی غنو

ردیف	شرح	تعداد	حقوق ماهانه (ریال)	کارکرد در سال (ماه)	حقوق سالانه (ریال)
۱	کارگر	۳	۱۵,۱۷۰,۰۰۰	۱۲	۵۴۶,۱۲۰,۰۰۰

جدول ۴-۲۵- کل هزینه سالانه نیروی انسانی

شرح	هزینه (ریال)
حقوق پایه	۵۴۶,۱۲۰,۰۰۰
بیمه و آموزش (۲۳٪ بیمه + ۱٪ آموزش)	۱۳۱,۰۶۸,۸۰۰
حق سنوات و ذخیره کار سالانه (معادل ۲ ماه حقوق پایه در سال)	۹۱,۰۲۰,۰۰۰
کل هزینه نیروی انسانی در سال	۷۶۸,۲۰۸,۸۰۰

جدول ۴-۲۶- هزینه خوراک سالیانه (ریال)

شرح	مقدار
تعداد شیفت در سال	۳۰۰
تعداد کارگر	۳
نفر شیفت سالانه	۹۰۰
هزینه واحد	۲۰۰,۰۰۰
هزینه سالانه غذا	۱۸۰,۰۰۰,۰۰۰

جدول ۴-۲۷- هزینه تعمیرات و نگهداری (ریال)

ردیف	شرح	هزینه سرمایه گذاری (ریال)	نرخ هزینه (درصد)	هزینه کل سالانه (ریال)
۱	غنو	۱,۷۳۹,۶۴۳,۵۰۰	۵	۸۶,۹۸۲,۱۷۵

جدول ۴-۲۸- هزینه جاری سالیانه (ارقام به ریال)

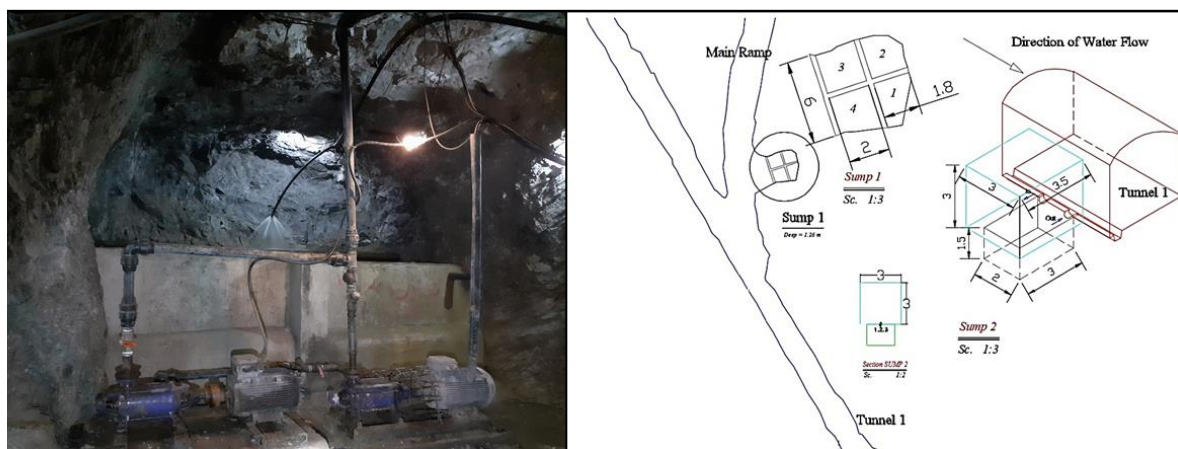
شرح	هزینه (ریال)
هزینه نیروی انسانی	۷۶۸,۲۰۸,۸۰۰
تغذیه	۱۸۰,۰۰۰,۰۰۰
تعمیرات و نگهداری	۸۶,۹۸۲,۱۷۵
متفرقه (۱۰٪ جاری سالیانه)	۱۰۳,۵۱۹,۰۹۸
جمع	۱,۱۳۸,۷۱۰,۰۷۳

ج - سیستم آبرسانی و موارد استفاده از آب تونل یک انگوران

آبرسانی در معدن و حفاریات زیرزمینی به عنوان یکی از مسائل مهم و بعضاً حیاتی مطرح می‌باشد. در عملیات آبرسانی، هدف تامین مناسب آب مورد نیاز برای فعالیتهای اجرایی با مشخصات فنی لازم (فشار و دبی مناسب) است. در مورد معدن سرب و روی انگوران، مصارف آب شامل آب مورد نیاز برای چکش‌های حفاری، بچینگ (تولید بتن)، شست و شو، فرونشاندن گرد و غبار و ... می‌باشد. آب مصرفی از نوع صنعتی بوده و نیازی به استفاده از آب آشامیدنی نمی‌باشد. آب مصرفی بخش‌های معدن شامل جبهه کارهای استخراجی و یا حفاریات آماده سازی کارگاه‌ها و همچنین تونل‌های توسعه عمدتاً برای فرونشاندن و کنترل گرد و غبار در نقاط مختلف معدن و به هنگام حفر چال سینه کارهای پیشروی

استفاده می‌شود. از دیگر مصارف آب در معدن سرب و روی انگوران، شست و شو و استحمام پرسنل معدن زیرزمینی می‌باشد.

اولین گام در انتخاب صحیح سیستم آبرسانی، شناسایی مصرف کننده‌های آب و میزان مصرف و در نهایت محاسبه دقیق دبی آب مصرفی در هر ساعت می‌باشد. از جمله مصرف کننده‌های مهم آب می‌توان به چکش حفاری و بچینگ به منظور تولید بتن اشاره نمود.



شکل ۴-۴۰ - جانمایی حوضچه برای تامین آب دستگاه‌های حفاری و بچینگ.

با توجه به تعهد استخراج ماهیانه ۱۰,۰۰۰ تن ماده معدنی طبق قرارداد و روزانه برابر با حدود ۳۳۰ تن ماده معدنی، نیاز به متوسط روزانه ۱۵۰ مترمکعب بتن ریزی است. با بهینه سازی طرح اختلاط و با در نظر گرفتن مباحث اقتصادی آماده سازی مواد پرکننده، ترکیب اختلاط مناسب مطابق جدول ۴-۲۹ ارائه شده است.

جدول ۴-۲۹- ترکیب اختلاط بهینه ارائه شده برای بتن پرکننده کارگاه‌های استخراج

ترکیب	سیمان (کیلوگرم)	ماسه (کیلوگرم)	نخودی (کیلوگرم)	آب (کیلوگرم)
مقدار به ازای ۱ متر مکعب	۳۰۰	۱۳۸۹	۳۴۷	۲۳۰

بنابراین مصرف کننده‌های مهم آب و میزان مصرف هر کدام در جدول ۴-۳۰ آورده شده است.

جدول ۴-۳۰- مصرف کننده‌های مهم آب و میزان مصرف

ردیف	مصرف کننده	مقدار مصرف
۱	چکش حفاری	۰/۵۵ مترمکعب بر ساعت
۲	بچینگ به منظور تولید بتن	۲۳۰ لیتر آب به ازای هر مترمکعب بتن

مقادیر مصرف اشاره شده در جدول ۴-۳۱، در شرایط مناسب می‌باشد. لازم است ضرایبی از جمله همزمانی، نشت و فرسودگی دستگاه نیز به مقادیر اولیه مصرف آب ضرب شود. مقدار ضریب همزمانی با توجه به مشخص بودن تعداد مصرف کننده و حداکثر مقدار لازم دبی آب مصرفی بر اساس برنامه، ادر نظر گرفته شده است. در جدول ۴-۳۵ ضرایب مذکور و مقادیر مربوطه ارائه شده است.

جدول ۴-۳۱- ضرایب همزمانی، نشت و فرسودگی برای سیستم آبرسانی

ردیف	ضریب	مقدار
۱	همزمانی	۱/۰۰
۲	نشت	۱/۱۰
۳	فرسودگی	۱/۰۵
	نهایی	۱/۱۵۵

در جدول ۴-۳۲ مقدار مصرف مصرف کننده‌ها با در نظر گرفتن ضرایب مربوطه بر حسب متر مکعب بر ساعت بیان شده است.

جدول ۴-۳۲- مقدار مصرف آب با در نظر گرفتن ضرایب بر حسب متر مکعب بر ساعت

ردیف	مصرف کننده	ضریب	تعداد	مقدار مصرف کل
۱	چکش حفاری	۱/۱۵۵	۵	۳/۴۶ متر مکعب بر ساعت
۲	بچینگ (به ازای ۱۵۰ متر مکعب در روز)	۱/۱۵۵	-	۱/۶۶ متر مکعب بر ساعت
	جمع	-	-	۵/۱۲ متر مکعب بر ساعت

طبق جدول ۴-۳۳، برای محاسبه مصرف آب سالانه معدن، میزان مصرف مصرف کننده‌ها بر حسب متر مکعب در روز نوشته می‌شود.

جدول ۴-۳۳- مقدار مصرف روزانه آب توسط مصرف کننده‌ها بر حسب متر مکعب در روز

ردیف	مصرف کننده	تعداد (دستگاه)	فعالیت (ساعت در روز)	مقدار مصرف آب (مترمکعب در روز)	تعداد روز در سال	مقدار مصرف آب (مترمکعب در سال)
۱	چکش حفاری	۵	۳	۱۰/۳۸	۳۰۰	۳،۱۱۴
۲	بچینگ	-	-	۳۴/۵	۳۰۰	۱۰،۳۵۰
جمع						۱۳،۴۶۴

از طرفی بخشی از آب تونل توسط لوله کشی جهت مصارف روزانه پرسنل (شست و شو و حمام) وارد منبع آب می‌شود. مصرف سرانه آب در ایران به طور متوسط در طول سال ۱۵۷ لیتر در روز به ازای هر نفر برآورد می‌شود که از این مقدار، ۵۰ لیتر جهت شست‌وشو و حمام و ۳۰ لیتر برای مصارف بهداشتی می‌باشد. پرسنل بخش زیرزمینی معدن سرب و روی انگوران ۳۵۰ نفر بوده و مصرف آب سالانه پرسنل به شرح زیر است:

جدول ۴-۳۴- مصرف آب سالانه پرسنل

تعداد پرسنل	مصرف روزانه شست‌وشو، حمام و مصارف بهداشتی (m ³)	تعداد روز در سال	کل مصرف آب در سال (m ³)
۳۵۰	۰/۰۸	۳۰۰	۸۴۰۰

بنابراین قیمت آب مصرفی سالانه به شرح جدول ۴-۳۵ خواهد بود.

جدول ۴-۳۵- قیمت آب مصرفی سالانه (ارقام به ریال)

کل آب مصرفی در سال (m ³)	بهای هر متن مکعب آب به همراه هزینه بالاسری در منطقه انگوران (Rial/m ³)	کل بهای آب مصرفی در سال (Rial)
۲۱،۸۶۴	۱۷۰،۰۰۰	۳،۷۱۶،۸۸۰،۰۰۰

د- جمع بندی هزینه‌های آبکشی معدن سرب و روی انگوران

کل هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی آبکشی معدن سرب و روی انگوران به صورت جدول ۴-۳۶ می‌باشد. از آنجایی که آب زیرزمینی معدن به عنوان یک منبع طبیعی تولید آب بوده و مصارف داخلی شبکه

معادن و همچنین مصارف بهداشتی پرسنل را پوشش می‌دهد، قیمت آن از هزینه‌های جاری سالیانه کسر می‌شود.

جدول ۴-۳۶- هزینه‌های آبکشی معدن سرب و روی انگوران

ردیف	شرح	هزینه (ریال)
۱	هزینه سرمایه‌ای	۱,۷۳۹,۶۴۳,۵۰۰
۲	هزینه‌های جاری سالیانه	۱,۱۳۸,۷۱۰,۰۷۳

اختلاف هزینه‌های جاری سالیانه و ذخیره ریالی مصرف آب از یک منبع طبیعی تولید آب به صورت زیر خواهد بود:

$$+۲,۵۷۸,۱۶۹,۹۲۷ = ۳,۷۱۶,۸۸۰,۰۰۰ + (-۱,۱۳۸,۷۱۰,۰۷۳) = \text{اختلاف هزینه‌های جاری و قیمت آب مصرفی سالیانه}$$

بنابراین معدن سرب و روی انگوران علاوه بر تامین آب مصرفی بچینگ و چکش‌های حفاری از آب تونل یک، از نظر اقتصادی ۲,۵۷۸,۱۶۹,۹۲۷ ریال ذخیره ریالی خواهد داشت.

۴-۸- جمع بندی

در این فصل پس از بررسی نتایج آزمایش لوژان برای تعیین نفوذپذیری و سطح آب زیرزمینی معدن سرب و روی انگوران، به تخمین جریان آب به درون تونل شماره یک با استفاده از روابط تحلیلی و تجربی پرداخته شد. بنابراین پس از تعیین شدت جریان آب ورودی به تونل، روابطی برای محاسبه هزینه‌های ناشی از ورود آب به تونل توسعه داده شده و با استفاده از این روابط هزینه‌های ناشی از ورود آب به تونل یک معدن سرب و روی انگوران تخمین زده شد.

فصل پنجم

نتایج و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

فرآیند حفاری فضاهای زیرزمینی که با ایجاد اختلال در هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی همراه است باعث ورود آب به فضای زیرزمینی می‌شود. جریان آب‌های زیرزمینی ممکن است یک خطر بالقوه و همچنین عامل مهمی در کنترل میزان پیشروی در حفاری فضاهای زیرزمینی باشد. یکی از مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز برای طراحی معدن، اطلاعات مربوط به وضعیت آب‌های محدوده معدن است. این امر از دو جنبه اهمیت دارد. یکی آنکه باید تعیین شود در مراحل مختلف معدن‌کاری، چه مقدار آب در حفاریات معدنی به جریان می‌افتد تا بر اساس آن سیستم آبکشی معدن طراحی شود. دیگر آنکه حجم و کیفیت آب‌های محل چگونه است تا بتوان برای مقاصد مختلف صنعتی و ایجاد فضای سبز معدن از آنها استفاده کرد. مطالعات هیدروژئولوژی در پروژه‌های معدن‌کاری جزو مطالعات بنیادین می‌باشد. از دلایل اصلی پرداختن به این موضوع، اهمیت بالایی است که می‌تواند در طی بهره‌برداری، چه از دید اقتصادی و چه از دید فنی سبب مشکلات زیادی شود. ورود آب به فضای زیرزمینی همه طراحی‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تخمین مقدار آب ورودی به تونل‌هایی که زیر سطح ایستابی و در توده سنگ‌ها حفر می‌شوند به عنوان چالشی بزرگ در برابر طراحان و مجریان فضاهای زیرزمینی می‌باشد. برآورد صحیح آب ورودی به تونل اهمیت فراوانی در معدن‌کاری دارد. روش‌های تحلیلی و تجربی متعددی برای تخمین میزان آب ورودی به تونل وجود دارد ولی توانایی برآورد دقیقی از جریان آب ورودی به تونل را ندارند. در این تحقیق پس از تحلیل تست‌های لوژان انجام شده و به دست آوردن چندین ضریب نفوذپذیری با استفاده از روابط متعدد و عدد لوژان مقاطع، میزان آب ورودی به تونل با استفاده از روابط تحلیلی و روش تجربی هیور محاسبه و با مقدار واقعی اندازه‌گیری شده مقایسه شد. نتایج نشان داد اکثر روابط تحلیلی به جز رابطه کارلسرود (حداقل ۹ و حداکثر ۴۱ لیتر بر ثانیه) و همچنین روش تجربی هیور (حداقل ۸/۴۲ و حداکثر ۱۶/۹ لیتر بر ثانیه)، اختلاف زیادی با مقدار واقعی (حداقل ۳/۸۷ و حداکثر ۳۷/۸ لیتر بر ثانیه) دبی آب ورودی به تونل دارند. همه این روابط بر مبنای دو پارامتر نفوذپذیری و سطح ایستابی آب زیرزمینی می‌باشند. تعیین این دو پارامتر مشکل بوده و به راحتی امکان پذیر نیست.

از طرفی به دلیل ماهیت کارستی منطقه و وجود شکستگی باز، حفره و گسل‌های زیاد تعیین ضریب نفوذپذیری معادل توده سنگ کار دشواری است. اختلاف بالای نتایج روابط تحلیلی با مقدار اندازه‌گیری شده به دلیل افزایش ناگهانی عدد لوژان به علت برخورد با زون‌های گسلی یا خرد شده می‌باشد. با توجه به نتایج برداشت‌های صحرایی و تحلیل‌های انجام شده گسل‌های امتداد لغز نسبت به گسل‌های نرمال خروج آب بیشتری داشته و گسل‌های معکوس خشک می‌باشند. از مواردی که در اکثر مواقع توجهی به آن نمی‌شود، برآورد هزینه‌های آبکشی استخراج معادن در زیر سطح آب زیرزمینی می‌باشد. هزینه‌های پیش‌بینی نشده ناشی از ورود آب به فضاهای زیرزمینی در طی بهره‌برداری می‌تواند باعث ضرر جانی یا مالی جبران‌ناپذیری شده و یا حتی موجب تعطیلی معدن شود. در مطالعات امکان‌سنجی اولیه، با توجه به تعدد و تنوع گزینه‌های فنی پروژه، مطالعات برآورد هزینه به صورت مکرر صورت گرفته تا از دیدگاه هزینه نیز گزینه‌های فنی تجزیه و تحلیل شوند. این موضوع در عمل نسبتاً پیچیده و وقت‌گیر است. با این دیدگاه استفاده از روش‌های قابل اعتماد تخمین هزینه، کمک زیادی خواهد کرد. از آنجایی که هیچ مدلی یافت نشده است که تنها بر روی هزینه‌های آبکشی فضاهای زیرزمینی تمرکز داشته باشد. در این تحقیق مدل جدیدی برای محاسبه هزینه‌های آبکشی از فضاهای زیرزمینی بر اساس میزان آب ورودی ارائه شده و بر اساس آن هزینه‌های آبکشی معدن سرب و روی انگوران محاسبه شد. ساده بودن، در دسترس بودن پارامترهای موثر در هزینه و انجام محاسبات بر حسب میزان آب ورودی به فضای زیرزمینی می‌تواند از مزایای این مدل باشد.

۵-۲- پیشنهادات

از آنجایی که مشکلات و هزینه‌های ناشی از ورود آب به فضاهای زیرزمینی شرح داده شد. در مورد معدن سرب و روی انگوران نیز ورود آب به شبکه معدن‌کاری باعث ایجاد مشکلاتی شده است که در تحقیق حاضر شرح داده شد. برای کاهش یا رفع این مسائل می‌توان راهکارهای زیر را پیشنهاد نمود:

۵-۲-۱- پیشنهادات اجرایی

- احداث حوضچه‌هایی در طول رمپ جهت ته نشست رسوبات برای جلوگیری از انتقال رسوبات به تونل یک و پر شدن غنو از رسوبات. در این صورت هزینه‌های لایروبی غنو کاهش خواهد یافت.
- ایجاد غنو در طول رمپ جهت جلوگیری از پخش شدن آب در سطح کف آن و انتقال رسوبات کف رمپ به تونل.
- اصلاح الگوی آتشیاری کارگاه‌های استخراج جهت جلوگیری از ایجاد گودال و شیب منفی در کف و جمع شدن آب با حجم زیاد در آن.
- هدایت آب‌های جمع شده با حجم زیاد در بخش‌های استخراج شده شمالی معدن به سمت خروجی و یا نصب علائم هشدار جهت جلوگیری از ورود کارگران به این محل‌ها.
- ساخت تیکنر به منظور تصفیه پساب معدن و استفاده از آن.
- ساخت سدهایی با بستر آهکی در طول مسیر پساب معدن در بیرون تونل به منظور ترسیب رسوبات و خنثی کردن آب اسیدی. لازم به ذکر است این رسوبات دارای عیار ماده معدنی بالایی بوده و بایستی جمع‌آوری شوند.
- استفاده از پمپ و آبکشی موضعی جهت جلوگیری از پاک‌سازی آب فضاهای زیرزمینی با دستگاه LHD.

۵-۲-۲- پیشنهادات علمی

- برای تحقیقات بعدی موارد پیشنهادی عبارتند از:
- انجام مطالعات در جنبه‌های مختلف ورود آب به تونل جهت تهیه نرم‌افزاری کارآمد برای تخمین میزان ورود آب به تونل‌های سنگی در تحقیقات آتی.
 - تحقیق در رابطه با تاثیر آب در راندمان فعالیت‌های استخراج معدن، ماشین‌آلات و تجهیزات معدن.
 - پژوهش در مورد راهکارهای عملی برای کنترل آلودگی آب معادن و جلوگیری از آب آلوده به محیط زیست.
 - مقایسه هزینه‌های جلوگیری و کنترل آسیب‌های زیست محیطی معدن‌کاری در زیر سطح آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل هزینه - منفعت.

- بررسی الگوی آتشیاری معدن زیرزمینی انگوران و ارائه الگویی مناسب جهت جلوگیری از ایجاد شیب منفی و گودال در کف کارگاه‌های استخراج و جمع شدن آب با حجم زیاد در آنها.
- مطالعه بر روی نفوذپذیری توده سنگ‌ها و ارائه راهکاری برای تعیین نفوذپذیری معادل نزدیک به مقدار واقعی توده سنگ.

پوست

پیوست ۱- میانگین رطوبت و بارندگی در منطقه انگوران در سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۶

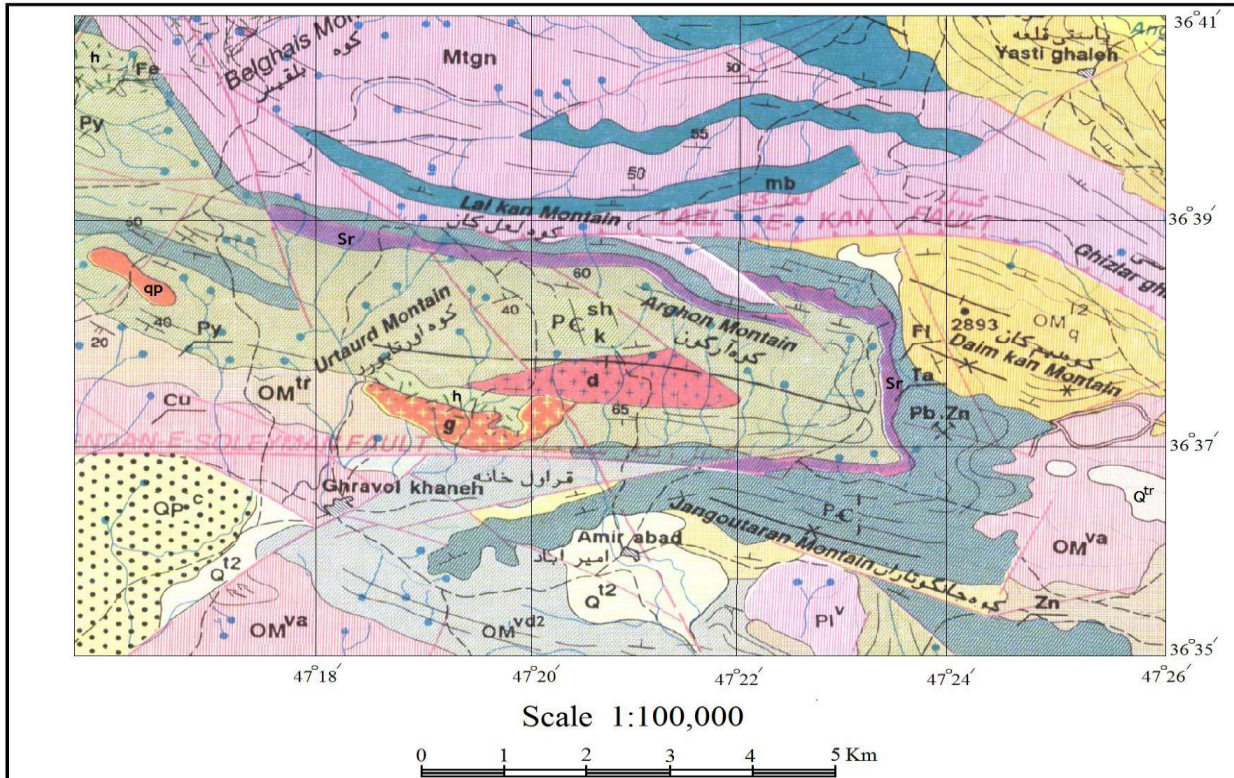
جدول ۱- میزان بارندگی در منطقه در ماه‌های مختلف از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۶

سالانه	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین
۱۳۹۳	۲۱.۸	۸۰.۵	۸.۰	۳.۴	۱۹.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۳	۱.۱	۰.۰	۱۷.۹	۲۷.۳
۱۳۹۵	۱۸.۱	۲۹.۵	۲۲.۳	۲۶.۲	۳۴.۵	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۲۴.۱	۹.۷	۱۸.۲	۵۵.۵
۱۳۹۴	۳۹.۰	۱۱.۰	۵.۱	۱۷.۹	۶۰.۴	۱۷.۸	۲۲.۱	۰.۰	۳.۳	۹.۵	۲.۶	۳۲.۴
۱۳۹۳	۲۰.۴	۱۵.۹	۲.۲	۳۷.۵	۱۹.۳	۳۴.۷	۰.۰	۰.۰	۲۴.۹	۶.۷	۲۰.۷	۲۹.۴
۱۳۹۲	۴۴.۷	۱۵.۸	۳.۰	۴۶.۹	۵۴.۶	۱.۰	۰.۰	۰.۷	۰.۰	۱۲.۰	۳۰.۷	۲۴.۱
۱۳۹۱	۱۹.۶	۳۶.۲	۱۹.۵	۱۸.۸	۸۷.۹	۷.۵	۱.۹	۵.۸	۱۱.۴	۴۲.۶	۴۵.۹	۵۶.۵
۱۳۹۰	۱۲.۰	۳۵.۰	۲۰.۹	۱.۷	۶۲.۷	۱.۹	۴.۰	۰.۰	۰.۹	۲۰.۷	۷۵.۶	۲۵.۸
۱۳۸۹	۳۰.۱	۶.۹	۵۱.۸	۲۴.۸	۷.۰	۰.۰	۳.۱	۱.۳	۰.۳	۴.۰	۱۰.۷.۸	۴۲.۰
۱۳۸۸	۳۵.۶	۳۱.۸	۱۰.۰	۱۸.۸	۸۱.۰	۵.۳	۱۹.۵	۰.۰	۱۴.۴	۳۰.۷	۳۶.۷	۵۱.۸
۱۳۸۷	۱۵.۳	۱۹.۶	۱۲.۷	۴.۱	۶۰.۶	۳.۶	۹.۱	۵.۰	۴.۷	۳.۴	۲۰.۰	۶.۶
۱۳۸۶	۳۴.۰.۲	۵۰.۷	۲۵.۱	۶.۳	۴۵.۰	۱.۸	۱۴.۱	۶.۹	۱۳.۶	۲۴.۴	۵۳.۶	۹۵.۸
۱۳۸۵	۲۶۶.۱	۱۴.۰	۲۹.۷	۲۹.۵	۱۴.۰	۴۰.۸	۱.۵	۰.۰	۳.۶	۳.۴	۴۲.۱	۴۶.۷
۱۳۸۴	۲۲۷.۳	۴.۴	۶۱.۶	۳۳.۴	۷.۱	۴۸.۰	۰.۴	۰.۰	۶.۵	۴.۸	۴۶.۸	۱۴.۳
۱۳۸۳	۲۴۵.۶	۱۹.۳	۲۵.۵	۲۰.۶	۳.۳	۳۹.۴	۰.۰	۰.۰	۱۳.۱	۱۵.۱	۷۸.۸	۲۶.۰
۱۳۸۲	۳۴۰.۴	۲.۶	۱۶.۲	۳۴.۷	۵۸.۳	۲.۲	۳.۵	۷.۳	۳.۰	۶۵.۴	۵۳.۳	۷۴.۲
۱۳۸۱	۲۸۴.۲	۲۹.۴	۴۹.۰	۵.۴	۸۴.۵	۱.۲	۰.۰	۷.۱	۱.۶	۰.۰	۲۹.۷	۵۵.۳
۱۳۸۰	۲۳۵.۰	۴۲.۲	۲۰.۸	۱۶.۳	۳۳.۷	۹.۶	۲.۴	۱.۶	۷.۰	۰.۱	۲۸.۴	۳۵.۷
۱۳۷۹	۲۳۶.۴	۴.۰	۲۳.۴	۱۰.۰	۲۷.۰	۳۳.۵	۱۲.۵	۲.۰	۷.۰	۳.۵	۳۱.۵	۸۲.۰
۱۳۷۸	۱۶۵.۰	۲۶.۵	۱۶.۵	۲۴.۰	۱۹.۰	۱۶.۰	۰.۰	۰.۰	۱۲.۵	۰.۰	۱۵.۵	۳۲.۰
۱۳۷۷	۲۰۸.۰	۱۲.۰	۱۸.۵	۴۸.۰	۱.۵	۷.۵	۵.۰	۲.۰	۲.۵	۱۱.۵	۵۲.۰	۴۶.۵
۱۳۷۶	۲۹۴.۵	۵۵.۵	۲۴.۵	۴۹.۵	۲۶.۰	۴۷.۰	۱۰.۵	۳.۰	۱۹.۵	۱۷.۵	۲۰.۵	۲۱.۰
۱۳۷۵												
حداکثر	۳۵۳.۶	۵۵.۵	۶۱.۶	۵۱.۸	۸۴.۵	۴۰.۸	۲۲.۱	۷.۳	۲۴.۹	۶۵.۴	۱۰.۷.۸	۹۵.۸
حدادقل	۱۶۴.۷	۲.۶	۶.۹	۲.۲	۱.۵	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۲.۶	۶.۶
میانگین	۲۵۷.۱	۲۴.۸	۲۵.۶	۲۱.۳	۲۵.۸	۸.۰	۴.۳	۲.۵	۸.۴	۱۴.۳	۴۰.۵	۴۲.۷

جدول ۲- جدول متوسط رطوبت منطقه در ماه‌های مختلف سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶

میانگین سالانه	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین
۱۳۹۶	۴۷.۶	۷۱	۵۴	۶۱	۶۰	۵۶	۳۶	۳۶	۴۰	۳۱	۴۴	۵۷
۱۳۹۵	۴۷.۶	۶۹	۶۴	۵۳	۵۳	۳۵	۳۰	۳۲	۳۵	۳۴	۴۵	۵۷
۱۳۹۴	۴۱.۴	۴۷	۵۵	۶۰	۵۷	۳۶	۳۴	۲۸	۲۵	۳۱	۳۳	۴۶
۱۳۹۳	۴۸.۵	۵۳	۵۶	۷۳	۶۳	۵۱	۳۲	۳۲	۳۹	۳۳	۴۲	۴۹
۱۳۹۲	۴۹	۵۵	۶۰	۶۷	۶۵	۳۶	۳۳	۴۱	۳۴	۳۴	۴۷	۴۴
۱۳۹۱	۵۱	۵۰	۵۶	۷۰	۶۵	۴۳	۴۲	۳۲	۴۲	۴۲	۵۲	۵۸
۱۳۹۰	۵۰	۵۴	۶۵	۷۳	۶۵	۳۶	۴۲	۳۵	۳۲	۳۵	۵۴	۴۰
۱۳۸۹	۴۷	۵۸	۶۴	۴۴	۴۶	۳۶	۳۷	۲۸	۳۱	۳۵	۶۰	۵۳
۱۳۸۸	۵۱	۵۲	۶۲	۶۸	۶۴	۴۱	۴۵	۴۲	۳۸	۴۳	۴۶	۵۱
۱۳۸۷	۴۶	۴۸	۶۳	۵۷	۷۱	۴۰	۴۰	۳۳	۳۸	۳۰	۳۵	۳۷
۱۳۸۶	۵۱	۵۴	۷۰	۶۴	۳۹	۴۱	۳۸	۳۹	۴۵	۴۳	۵۴	۵۷
۱۳۸۵	۵۲	۶۱	۷۰	۷۵	۶۱	۴۶	۳۴	۳۳	۳۸	۳۷	۵۳	۵۱
۱۳۸۴	۴۷	۴۲	۶۲	۶۶	۵۹	۳۸	۳۸	۳۸	۳۷	۳۸	۴۸	۴۳
۱۳۸۳	۵۴	۶۳	۷۱	۶۳	۶۶	۳۹	۳۵	۴۴	۴۵	۵۳	۵۴	۵۲
۱۳۸۲	۵۲	۵۱	۶۰	۶۹	۵۷	۴۳	۳۶	۴۱	۴۲	۴۸	۵۰	۵۲
۱۳۸۱	۴۸	۴۱	۶۴	۷۲	۵۳	۳۴	۳۴	۳۴	۳۸	۳۶	۵۱	۵۵
۱۳۸۰	۴۷	۴۶	۶۷	۵۹	۵۲	۳۹	۳۹	۳۴	۳۹	۳۲	۴۰	۴۴
۱۳۷۹	۵۱	۵۱	۷۲	۶۸	۶۷	۴۶	۳۵	۳۳	۳۵	۴۰	۴۲	۴۹
۱۳۷۸	۴۶	۵۵	۵۷	۶۶	۶۱	۳۸	۳۶	۳۲	۳۴	۲۷	۳۸	۴۲
۱۳۷۷	۴۹	۴۵	۵۹	۵۷	۵۵	۴۷	۳۶	۴۴	۳۶	۳۷	۵۵	۴۹
۱۳۷۶	۴۹	۶۳	۶۳	۷۲	۶۳	۳۴	۳۶	۳۵	۳۹	۳۸	۴۰	۴۳
میانگین	۴۹	۵۲	۶۳	۶۵	۶۴	۴۰	۳۷	۳۵	۳۷	۳۷	۴۷	۴۹

پیوست ۲- نقشه زمین شناسی منطقه انگوران [اقتباس از نقشه یکصد هزار تخت سلیمان
(سازمان زمین شناسی کشور) (۱۵۱)].



L E G E N D		
	OM ^{vd2}	Pink dacitic and ignimbritic lavas and related tuffs.
	OM ^{va}	Grey, brown and violet porphyritic andesitic lava.
	OM ^{tr}	White to pink pumiceous tuff breccia.
	h	Hydrothermally alteration including kaolinization, alunization and argilization.
	qp	Quartz porphyry, microgranite and aplite.
	g	Granite.
	d	Quartz diorite, diorite, gabbro.
	mb	Marble.
	Mtgn	Alternation of gneiss, marble and amphibolite.
	Pc ^l	Crystaline dolomitic limestone and dolomite, thick bedded, grey (JANGUTARAN limestone).
	Sr	Metamorphosed ultramafic-mafic lava flow (Komatiite).
	Pc ^{sh}	Alternation of micaschist and quartzite, grey-green (Metamorphosed KAHAR Formation?).
	Q ¹²	Young terraces and low gravel fans (sand, silt and clay).
	Q ^{tr}	Calcareous spring deposits (Teravertine).
	QP ^c	Loose clay-cemented polygenetic conglomerate.
	Pl ^v	Andesite, dacite-andesitic lava domes.
	OM ^{l2}	Cream, thick bedded to massive limestone with yellowish-green marly intercalitions.
		Fault.
		Thrust.
		Syncline axis.
		Anticline axis.
	30	Measured dip.
	Pb	Ore indication.
	Pb	Mine in operation.
		Village.
		Motorable track.
		Drainage.
		Spring.

مراج

- [۱] مدنی، حسن، (۱۳۸۸)، "تونل‌سازی (خدمات فنی)"، جلد دوم، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- [۲] غلامی، مجید، (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی تانسور نفوذپذیری توده سنگ و پیش بینی جریان ورودی به تونل؛ مطالعه موردی - شاخه شمالی تونل انتقال آب کرمان"، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- [۳] زارعی، حمید رضا، ارومیه‌ای، علی. (۱۳۸۸)، "شناسایی و طبقه بندی مخاطرات ناشی از ورود آب به درون تونل سبزکوه"، ششمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۴] دولتی ارده جانی، فرامرز، شفایی تنکابنی، سید ضیال‌الدین، کاکایی، رضا. (۱۳۸۳)، "مدل‌سازی مشکلات آب در معادن روباز با استفاده از روش اجزاء محدود"، کنفرانس مهندسی معدن ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
- [5] Gentry, D. W., & O'neil, T. J. (1984). Mine investment analysis. SME. New York.
- [۶] خردمندزاده، زهرا، (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تحلیل برگشتی تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی سازندهای سخت قطعه دوم تونل زاگرس با روش اجزاء مجزا"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی.
- [۷] مرادی، فرزانه، (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "شبیه سازی شبکه جریان در آبخوان آبرفتی پیرامون تونل‌های مکانیزه - مطالعه موردی؛ بخش شرقی - غربی تونل خط ۷ مترو تهران، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی.
- [۸] صیادی، احمدرضا، بصیری، محمد حسین، گیلانی سید امید، (۱۳۸۶)، "طراحی و تهیه پایگاه داده و نرم افزار تخمین هزینه ماشین آلات پروژه‌های معدنی"، نشریه علمی - پژوهشی مهندسی معدن، شماره چهارم، دوره دوم، صفحه ۱۱ تا ۲۰.
- [۹] نجف زاده، میثم، صیادی، احمدرضا، خادمی حمیدی، جعفر، (۱۳۹۲)، "برآورد مقدماتی هزینه‌های ساخت تونل‌های کوتاه راه در محیط‌های سنگی با کیفیت متوسط تا خوب"، نشریه مهندسی تونل و فضاهای زیرزمینی، شماره ۱، دوره ۳.
- [10] Kaneshiro, J. Y., & Schmidt, B. (1995, January). Fracture and shatter zone inflow into hard rock tunnels Case histories. In *The 35th US Symposium on Rock Mechanics (USRMS)*. American Rock Mechanics Association.
- [11] Liebel, H. T., Huber, K., Frengstad, B. S., Ramstad, R. K., & Brattli, B. (2012). Thermal response testing of a fractured hard rock aquifer with and without induced

- groundwater flow. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 71(3), 435-445.
- [12] Spross, J., & Larsson, S. (2014). On the observational method for groundwater control in the Northern Link tunnel project, Stockholm, Sweden. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2), 401-408.
- [13] Ameli, A. (2006). Estimation of water inflow into a tunnel during construction, *Tunnelling Association of Canada Proceedings*.
- [14] Chen, R. (2010). *Groundwater inflow into rock tunnels* (Doctoral dissertation).
- [15] Gattinoni, P., & Scesi, L. (2010). An empirical equation for tunnel inflow assessment: application to sedimentary rock masses. *Hydrogeology journal*, 18(8), 1797-1810.
- [16] Milanovic, P. (2007). Nowsoud water conveyance tunnel project, Mission Report, *Iran Water & Power Resources Development Company*.
- [17] Sharifzadeh, M. and Javadi, M., (2017) *Groundwater and Underground Excavations: from Theory to Practice* [Series: Rock Mechanics and Engineering, volume 3, Chapter 10, Editor: Xia-Ting Feng; CRC Press].
- [18] Zeqiri, K., Shala, F., Shabani, M., & Zeqiri, R. (2017). The Economic Cost of Dewatering of the “Hajvalia” Mine. *Journal of International Environmental Application and Science*, 12(1), 49-51.
- [19] Butscher, C. (2012). Steady-state groundwater inflow into a circular tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 32, pp.158-167.
- [20] Allah, B. (2012). How to Estimate the Cost of a Temporary Site Dewatering System. *American Society of Professional Estimators*.
- [21] Mallo, S. J. (2011). Mine Dewatering: A veritable component in mine cost analysis in the development and mining of the Lafia-Obi Coal, Nigeria. *Continental J. Earth Sciences*, 14.
- [22] Font-Capó, J., Vázquez-Suñé, E., Carrera, J., Martí, D., Carbonell, R., & Pérez-Estaun, A. (2011). Groundwater inflow prediction in urban tunneling with a tunnel boring machine (TBM). *Engineering Geology*, 121(1-2), 46-54.
- [23] Moon, J., & Fernandez, G. (2010). Effect of excavation-induced groundwater level drawdown on tunnel inflow in a jointed rock mass. *Engineering Geology*, 110(3-4), 33-42.
- [24] Li, D., Li, X., Li, C. C., Huang, B., Gong, F., & Zhang, W. (2009). Case studies of groundwater flow into tunnels and an innovative water-gathering system for water drainage. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 24(3), 260-268.
- [25] Gattinoni, P., Scesi, L., & Terrana, S. (2009, April). Water flow in fractured rock masses: numerical modeling for tunnel inflow assessment. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 11, p. 468).
- [26] Lei, S. (1999). An analytical solution for steady flow into a Ttunnel. *Groundwater*, 37(1), 23-26.
- [27] Zhang, L., & Franklin, J. A. (1993, February). Prediction of water flow into rock tunnels: an analytical solution assuming an hydraulic conductivity gradient. In *International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts* (Vol. 30, No. 1, pp. 37-46). Pergamon.
- [28] Hassani, A. N., Farhadian, H., & Katibeh, H. (2018). A comparative study on evaluation of steady-state groundwater inflow into a circular shallow tunnel. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 73, 15-25.

[۲۹] مرسلی، مسعود، نخعی، محمد، رضایی، محسن، ناصری، حمیدرضا، حسن پور، جعفر، (۱۳۹۶)، "مقایسه روش‌ها و متغیرهای مؤثر در آب ورودی به تونل‌های سازندهای سخت"، تونل انتقال آب سد کرج به تهران، نشریه علوم زمین، شماره ۱۰۷، صفحه ۱۱۳ تا ۱۲۲.

[30] Hassani, A. N., Katibeh, H., & Farhadian, H. (2016). Numerical analysis of steady-state groundwater inflow into Tabriz line 2 metro tunnel, northwestern Iran, with special consideration of model dimensions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(4), 1617-1627.

[31] Farhadian, H., Katibeh, H., Huggenberger, P., & Butscher, C. (2016). Optimum model extent for numerical simulation of tunnel inflow in fractured rock. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 60, 21-29.

[32] Hassani, A.N., Farhadian, H. and Katibeh, H. (2015). Groundwater Inflow Assessment to Karaj Water Conveyance Tunnel, Northern Iran. *KSCE Journal of Civil Engineering*.

[۳۳] عبدی، سعید، حسن پور، جعفر، چشمی، اکبر، (۱۳۹۵)، "تخمین دبی آب ورودی به بخش سنگی تونل توسعه جنوبی خط ۶ متروی تهران"، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[34] Farhadian, H., & Katibeh, H. (2015). Groundwater Seepage Estimation into Amirkabir Tunnel Using Analytical Methods and DEM and SGR Method. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 9(3).

[۳۵] اکبری، حسن، کتیبه، همایون، عالی انوری، علی، (۱۳۹۴)، "تحلیل عددی کنترل نشت از تونل انتقال آب آزاد کردستان به وسیله نرم افزار UDEC"، کنفرانس و نمایشگاه مهندسی آب، تهران، شرکت همایش فرازان کاراهیا.

[۳۶] رمضان نیا، سید رسول، عطائی، محمد، میزایی نصیرآباد، حسین، (۱۳۹۳)، "برآورد و پیش بینی نشت و هجوم آب به داخل تونل با استفاده از روش‌های تحلیلی و تجربی"، پنجمین کنفرانس مهندسی معدن، مصلی امام خمینی تهران.

[۳۷] معدن کن، محمد، حسن پور، جعفر، چشمی، اکبر، مرسلی، مسعود، (۱۳۹۳)، "استفاده از روش‌های تحلیلی برای تخمین دبی آب ورودی به تونل‌های واقع در قطعه دوم آزاد راه تهران شمال"، اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی ژئوتکنیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

[۳۸] احمدزاده، علی، باقرپور، راحب، مهدوری، سعید، (۱۳۹۴)، "تحلیل تراوش در تونل انتقال آب چشمه روزیه در مرحله ساخت و بهره برداری با بهره‌گیری از شبیه سازی عددی، نشریه زمین شناسی مهندسی، جلد دهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵.

[۳۹] استاد، هادی، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی علل و میزان نشت آب به تونل خط ۷ متروی تهران با استفاده از مدل ریاضی"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تربیت معلم - تهران.

[۴۰] رفیعی، رامین، رمضان زاده، احمد، سرشکی، فرهنگ، موحدی نژاد، اسماعیل، (۱۳۹۲)، "بررسی تاثیر خصوصیات درزه ها بر روی جریان پایدار آب ورودی به تونل، مطالعه موردی: تونل سوم کوه‌رنگ"، نشریه مهندسی تونل و فضاها، زیرزمینی، شماره ۲، دوره ۲.

[41] Sharifzadeh, M., Karegar, S. and Ghorbani, M., 2013. Influence of rock mass properties on tunnel inflow using hydromechanical numerical study. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(1), pp.169-175.

[۴۲] قاسمی قدرت، مهدی، کاظمی، میلاد، (۱۳۹۱)، "روش‌های کنترل ورود آب به داخل تونل و زهکشی آن، مطالعه موردی؛ تونل انتقال آب امیرکبیر"، چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران. [۴۳] مدنی، حسن، (۱۳۸۹)، "بکشی و آبرسانی در معادن"، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

[۴۴] خدادادی، محمد، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تخمین و بررسی آب ورودی به تونل در توده سنگ‌های درزه‌دار مطالعه موردی تونل انتقال آب آسپر"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه فردوسی مشهد.

[۴۵] عباسی، مهدی، شریفی، ابراهیم، ایزدی، احمدرضا، آغاسی، عبدالوحدید، (۱۳۹۰)، "ارزیابی اعتبار روش‌های مختلف تخمین جریان آب نفوذی به تونل انتقال آب گلاب"، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[۴۶] زارع، سهراب، ناصر، حمیدرضا، حسن پور، جعفر و مرسلی، مسعود، (۱۳۹۰)، "مدل‌سازی تفاضل محدود نفوذ جریان آب زیرزمینی به قطعه شرقی - غربی تونل خط هفت مترو تهران و مقایسه نتایج با روش‌های تحلیلی"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[۴۷] میکائیل، رضا، دولتی ارده جانی، فرامرزی، (۱۳۸۷)، "پیش بینی میزان نفوذ آب به داخل تونل با استفاده از مدل‌سازی عددی اجزاء محدود"، نشریه بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، ویژه نامه مهندسی مواد، معدن و عمران، جلد ۱۹، شماره ۹، صفحه ۶۵-۷۳.

[۴۸] مهدوری، سعید، هاشمی، مسعود، آیتی، فزه، (۱۳۸۸)، "بررسی دبی آب نشتی از تونل انتقال آب بهشت آباد با استفاده از روش‌های تحلیلی و عددی"، نشریه علمی - پژوهشی مهندسی معدن، شماره هفتم، دوره چهارم، صفحه ۶۳ تا ۷۱.

[۴۹] کتیبه، همایون، عالی انوری، علی، (۱۳۸۵)، "تخمین میزان نفوذ آب به تونل انتقال آب قمرود به کمک نرم افزار plaxis"، ششمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی.

[۵۰] کتیبه، همایون، عالی انوری، علی، (۱۳۸۵)، "تخمین جریان نشت آب زیرزمینی به تونل انتقال آب قمرود توسط نرم افزار TunSeep"، هفتمین کنفرانس تونل ایران.

[۵۱] گزارش زمین‌شناسی معدن سرب و روی انگوران، (۱۳۹۱).

[۵۲] گزارش اداره کل هواشناسی استان زنجان، (۱۳۹۷).

- [53] Bandis, S. C., Lumsden, A. C., & Barton, N. R. (1983, December). Fundamentals of rock joint deformation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* (Vol. 20, No. 6, pp. 249-268). Pergamon.
- [54] Goodman, R.E., Taylor, R.L., Brekke, T.L. (1968). A model for the mechanics of jointed rock. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division: proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 94(SM3): 637-659.
- [55] Barton, N. R. (1972, September). A model study of rock-joint deformation. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts* (Vol. 9, No. 5, pp. 579-582). Pergamon.
- [۵۶] طاهرخانی، حمیدرضا، (۱۳۹۲)، "بررسی تأثیر پارامترهای ژئوتکنیکی سنگ بر راندمان عملیات استخراج معدن انگوران"، دانشکده معدن، دانشگاه زنجان.
- [۵۷] محمودیان شوشتری، محمد، (۱۳۹۲)، "هیدرولیک آب های زیرزمینی"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- [58] Indraratna, B., Ranjith, P. G., & Gale, W. (1999). Single Phase Water Flow Through Rock Fractures. *Geotechnical & Geological Engineering*, 17(3-4), 211-240. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008922417511>.
- [59] Crandall, D., Bromhal, G., and Karpyn, Z. T. (2010). Numerical Simulations Examining The Relationship between Wall-Roughness and Fluid Flow in Rock Fractures. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 47(5), 784-796. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrmmms.2010.03.015>.
- [۶۰] وتوکوری، وی. اس، کاتسویاما، ک، (۱۳۹۰)، "درآمدی بر مکانیک سنگ، ترجمه محمد فاروق حسینی"، چاپ ششم، انتشارات نشر کتاب دانشگاهی، تهران.
- [۶۱] فردریش کارل اورت، (۱۳۸۵)، "تزیق در سنگ با تاکید بر ساختگاه سدها، ترجمه مجید ابراهیمی ساعتی"، چاپ اول، انتشارات سیمای دانش، تهران.
- [62] Heuer, R. E. (1995, June). Estimating rock tunnel water inflow. In *Proceedings of the rapid excavation and tunneling conference* (pp. 41-60). SOCIETY FOR MINING, METALLOGY & EXPLORATION, INC.
- [63] Farhadian, H., Aalianvari, A., & Katibeh, H. (2012). Optimization of analytical equations of groundwater seepage into tunnels: A case study of Amirkabir tunnel. *Journal of the Geological Society of India*, 80(1), 96-100.
- [64] Goodman, R.E., Moye, D.G., Schalkwyk, A.V., and I, J. (1965). Ground water inflows during tunnel driving. *Engineering Geology, Bulletin of AEG* 2(1), 39-56.
- [65] Lei, S. (1999). An analytical solution for steady flow into a Ttunnel. *Groundwater*, 37(1), 23-26.
- [66] El Tani, M. (1999). Water inflow into tunnels. *Challenges for the 21st Century (ITA world tunnel congress, proceedings of the world tunnel congress'99)*, (Alten, T., et al., Eds.), pp. 61-70. Taylor and Francis, Oslo, Norway.
- [67] Karlsrud, K., & Kvelde, V. (2002). Control of water leakage when tunnelling under urban areas in the Oslo region. In *Planning and Engineering for the Cities of Tomorrow. Second International Conference on Soil Structure Interaction in Urban Civil Engineering* Swiss Federal Inst of Technology, Zurich; European Commission COST;

Swiss Federal Office for Education and Sciences; Swiss Society for Soil and Rock Mechanics; Norwegian Geotechnical Inst; CDM Consult AG; Mott MacDonald; SKANSKA; Bilfinger Berger; Alpine.

[68] Lombardi, G. (2002). Quoted from: El Tani M (2003) Circular tunnel in a semi-infinite aquifer. *Tunnel Underground Space Technology*, 18, 49-55. [http://dx.doi.org/10.1016/S0886-7798\(02\)00102-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0886-7798(02)00102-5).

[69] Hwang, J. H., & Lu, C. C. (2007). A Semi-Analytical Method for Analyzing The Tunnel Water Inflow. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 22(1), 39-46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2006.03.003>

[۷۰] عالی انوری، علی، کتیبه، همایون، محمود آبادی، حمید، (۱۳۸۷)، "تخمین نفوذپذیری معادل در امتداد محور تونل امیرکبیر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی"، دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران.

[۷۱] کریمی، الهام، کارگران، فریبا، مهرنهاد، حمید، (۱۳۹۵)، "ارزیابی نشت آب زیرزمینی تونل خط ۲ مترو شیراز و رده بندی خطر نشت آب به روش SGR"، چهارمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران، دانشگاه شهید بهشتی.

[۷۲] مهدوی نژاد، حسین، (۱۳۹۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی فرایند تزریق در تونل های سنگ سخت"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۷۳] طاهری، داریوش، افتخاری، عباس، رضا خانی، محمد، (۱۳۸۵)، "ارزیابی میزان آب ورودی و لزوم اجرای آب بندی قطعه دوم تونل نوسود، دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس

[74] Shin, Y. J., Kim, B. M., Shin, J. H., & Lee, I. M. (2010). The Ground Reaction Curve of Underwater Tunnels Considering Seepage Forces. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 25(4), 315-324. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2010.01.005>

[۷۵] گلیان، محسن، عباسی، مهدی و عباسی، محسن، (۱۳۹۴)، "تخمین مدت زمان فروکش هجوم آب به تونل نوسود"، دومین کنفرانس منطقه‌ای و یازدهمین کنفرانس تونل ایران، تهران، انجمن تونل ایران.

[76] Ortega, O. J. (1997). Prediction of Macrofracture properties using microfracture information, Mesaverde Group sandstone, San Juan Basin, New Mexico. In Jackson School of Geosciences, Vol. Master, p. 250. The University of Texas at Austin, Austin.

[۷۷] جوادی اصطهباناتی، مرتضی، شریف زاده، مصطفی، (۱۳۹۳)، "مدل سازی جریان سیال در محیط ناپیوسته سنگی با استفاده از شبکه شکستگی مجزا"، مجله مهندسی عمران شریف، شماره ۳، دوره ۲، صفحه ۱۰۷-۱۱۶.

[۷۸] قبادی، محمد حسین، (۱۳۸۹)، "آب های زیرزمینی"، چاپ اول، انتشارات بوعلی سینا، همدان.
[۷۹] دفتر امور فنی و تدوین معیارها، (۱۳۷۸)، "راهنمای تزریق در سازه های آبی"، نشریه شماره ۱۸۶، انتشارات سازمان برنامه و بودجه و وزارت نیرو، ص ۴۷.

[80] Ewert, F. K. (2005). Hydrofracturing of latent discontinuities in rock and implications for successful and economical execution of grouting. *Dam engineering*, (1), 5-65.

[81] Ewert, F.K.(1985). Rock Grouting with Emphasis on Dam Sites: *Springer Verlag, Berlin*. 428 p.

[82] Ewert, F. K.(1997). Permeability, groutability and grouting of rocks related todam sites: Part 1, *Springer Verlag, Berlin*, p. 31–77.

[83] Karagüzel, R., & Kilic, R. (2000). The effect of the alteration degree of ophiolitic melange on permeability and grouting. *Engineering geology*, 57(1-2), 1-12.

[84] Canoğlu, M. C., & Kurtuluş, B. (2017). Determination of the dam axis permeability for the design and the optimization of grout curtain: An example from Orhanlar Dam (Kütahya-Pazarlar). *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 5(1).

[85] Quiñones-Rozo, C.(2010).Lugeon test interpretation, revisited. *Collaborative Management of Integrated Watersheds*, 405-414.

[۸۶] قنبری، علی، (۱۳۸۸)، "کاوش‌های صحرایی در مهندسی ژئوتکنیک"، چاپ اول، نشر پژوهشی نوآوران شریف، تهران.

[۸۷] دستورالعمل آزمایش‌های تراوایی، نشریه ۱۸۸ سازمان برنامه و بودجه.

[۸۸] کربلا، محمد امین، کتیبه، همایون، (۱۳۸۸)، تزریق دوغاب سیمانی در سنگ، چاپ اول، انتشارات تراوا.

[89] David Keith Todd.(2004). *Groundwater Hydrology*, John Wiley & Sons.

[۹۰] مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، (۱۳۹۴)، "راهنمای طراحی و اجرای پوشش داخلی تونل-های راه و راه آهن".

[91] Zarei, H. R., Uromeihy, A., & Sharifzadeh, M. (2013). A new tunnel inflow classification (TIC) system through sedimentary rock masses. *Tunnelling and underground space technology*, 34, 1-12.

[92] Goodman, R. E. (1965). Ground Water Inflow into a Tunnel Drive. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 2(1), 41-56

[93] Heuer, R., 1995. Estimating rock tunnel water inflow. In: *Proceedings of Rapid Excavation and Tunnelling Conference 1995*, pp. 41–60.

[94] El Tani, M.(2003). Circular tunnel in a semi-infinite aquifer. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 18, 49–55.

[95] Bickel, J. O., & Tanner, D. N. (1982). Sunken tube tunnels. *Tunnel engineering handbook*, 354-394.

[۹۶] حسینی، سید محمود، ابریشمی، جلیل، (۱۳۹۰)، "هیدرولیک کانال‌های باز" چاپ بیست و پنجم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).

[۹۷] وزارت صنعت، معدن و تجارت، دفتر نظارت و بهره برداری برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن، (۱۳۹۰)، "راهنمای آبکشی در معادن"، تهران، سازمان نظام مهندسی معدن ایران.

Abstract

The role of mines and resources in the economic growth of any country is undeniable. Undoubtedly, the exploitation of country's mines is a very positive and important factor in economic growth and development. The process of underground mining, which is associated with disruption of groundwater hydrogeology, causes the entry of water into the Underground space. Groundwater flow into the tunnel can pose many problems during drilling and exploitation. therefore important to estimate the amount of water flow in the tunnel from an executable point of view, and this requires understanding the hydrogeological conditions of the tunnel surrounding areas. Although several methods have been proposed to estimate the amount of water flow into the tunnel, there is no complete method for accurately calculating the amount of water flowing into the underground space. The number one tunnel of the Angouran lead and zinc mine is 1190 meters long, most of which is limestone and part of it is schist. In this research, after analyzing the results of allogenic tests carried out in the area, the role of geological structures such as faults, open fractures, etc. was investigated. Then, with the analytical and experimental methods estimated the flow rate of the inflow into the tunnel and compared with the actual value. From the analytical relationship, Karlsrud relation and Heuer's experimental method, the results were close to the actual value. Therefore, an accurate estimation of the water flow to the tunnel will be very useful in designing, determining the methods of implementation, and predicting costs. Cost estimation studies are an important part of the feasibility studies of mining projects and play a major role in economic or non-economic project introduction. Documented and reliable estimates of costs and thus project revenue estimates form the basis of economic analysis and investment decision making. Since no model has been found to focus solely on the cost of underground dewatering, a new model has been proposed to calculate the dewatering costs of underground space based on the amount of water flow. Simplicity, availability of cost effective parameters and calculations based on the amount of water flow the underground space can be the benefits of this model. Finally, the cost of dewatering of Angouran lead and zinc mine was estimated using the model.

Keywords: Dewatering Costs, Green Mining, Water Pressure Test, Estimation of water flow discharge, Angouran Tunnel.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysical Engineering

Master's Thesis In Mineral Excavation

Title

Estimation of the water flowe in the tunnel No. 1 of lead and zinc Angouran mine and forecast Costs of it

By

Majid farhadi

Supervisors

Dr.Mohammad Ataei

Dr.Farhang Sereshki

Advisor

Engineer. Bahman Kargar

January 2020